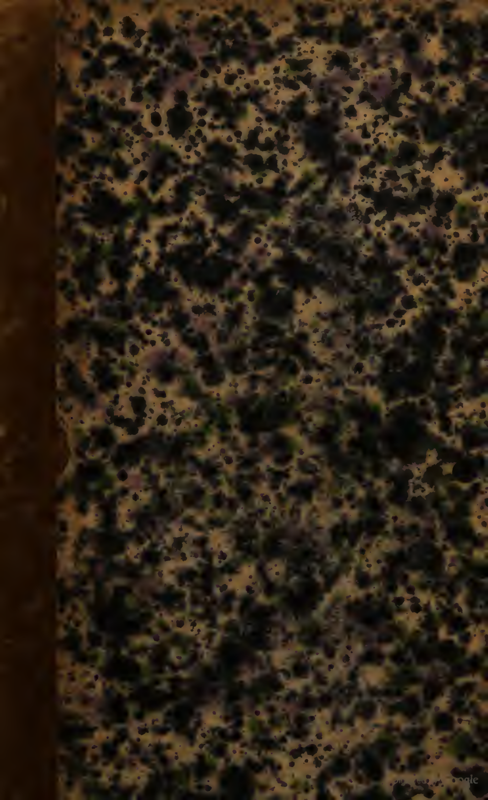


EXPOSÉ

DES

APPLICATIONS DE L'ÉLECTRICITÉ

PARIS. — IMPRIMERIE DE J. CLAYE

RUE SAINT-BENOIT, 7

EXPOSÉ

DES APPLICATIONS

DE L'ÉLECTRICITÉ

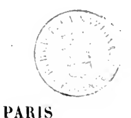
PAR

LE C^TE TH. DU MONCEL

TOME V

REVUE DES DÉCOUVERTES

FAITES DE 1859 A 1862



PARIS
LIBRAIRIE DE L. HACHETTE ET CIE
RUE PIERRE-SARRAZIN, 14

1862

EXPOSÉ

DES

APPLICATIONS DE L'ÉLECTRICITÉ

Revue des découvertes faites de 1858 à 1863.

Nous sommes un peu en retard avec nos lecteurs, auxquels nous avions promis une revue tout au moins bisannuelle des découvertes faites en électricité, afin de maintenir toujours notre exposé à la hauteur de la science. Mais beaucoup d'inventions importantes ayant dû subir les épreuves d'expériences réitérées et d'une étude approfondie avant d'être livrées à la publicité, nous avons cru devoir différer la publication de notre volume jusqu'à ce que les inventeurs aient jugé à propos de rompre le silence.

Ce qui caractérise en effet les inventions actuelles, ce n'est pas tant l'originalité de la conception que le perfectionnement des moyens employés pour résoudre d'une manière décisive les difficultés des problèmes. On a compris que, pour lutter avec avantage contre la routine et les préjugés, il ne fallait pas seulement montrer l'importance du but que telle invention pouvait atteindre, mais qu'il fallait arriver en lice avec des appareils irréprochables que l'expérience ne pouvait jamais mettre en défaut et sur lesquels la critique la

plus injuste ne pût s'exercer. C'est ainsi que le télégraphe autographique de M. Caselli, le télégraphe imprimeur de M. Hughes, ont mis à néant toutes les belles phrases, toutes les assertions qu'on faisait contre ces sortes d'appareils. C'est ainsi que les chronographes de MM. Martin de Brettes, Schultz et Lissajous sont venus prouver que la chronoscopie électrique n'était pas un mythe, comme voulaient le faire supposer certains vétérans de l'ancienne école d'artillerie. Enfin les piles de M. Marié-Davy, si bien accueillies dans la télégraphie, ont montré que les piles de Daniell et de Bunsen pouvaient bien avoir une concurrence.

Le nombre des perfectionnements apportés aux applications électriques depuis quatre années est si grand, que j'ai dù publier cette fois ma revue en deux volumes. J'étais bien aise aussi d'entrer dans quelques détails sur les découvertes scientifiques nouvelles se rapportant aux applications électriques; car, plus j'étudie la marche des inventions, plus je reconnais qu'elles pèchent généralement par le côté purement physique. Dans les applications électriques, en effet, il ne s'agit pas seulement d'avoir des idées ingénieuses et de les combiner habilement, les caprices de l'électricité sont si nombreux, qu'il faut les bien connaître pour en déjouer les effets dans des conditions données; et faute de cette connaissance bon nombre d'inventions ingénieuses, qui peuvent réussir dans les expériences de cabinet, échouent devant la pratique.

C'est pour obvier à cet inconvénient que j'ai publié comme annexes de mon ouvrage deux volumes théoriques sur les lois de l'électro-magnétisme et des courants, considérées au point de vue des applications électriques, et je dois dire qu'aujourd'hui tout inventeur qui ne connaît pas ces lois dans leurs détails court grand risque de ne pas réussir dans ses inventions.

Les inventions les plus intéressantes dont nous aurons à

nous occuper dans notre revue de cette année sont, en outre de celles dont nous avons parlé précédemment : les télégraphes magnéto-électriques de MM. Wheatstone, Siemens et Henley, qui ont résolu de la manière la plus complète le problème des transmissions télégraphiques sans piles; les télégraphes à transmissions automatiques de MM. Wheatstone, Siemens, Digney, qui permettent de transmettre environ de 200 à 400 lettres Morse par minute; les télégraphes imprimeurs de MM. Dujardin, d'Arlincourt, Desgoffe; les télégraphes Morse à déclanchement automatique de MM. Sortais, Siemens et Cuche; les appareils pour le rappel des stations, de MM. Queval, Callaud, Moulinot; les sonneries à relais de MM. Aubine et Gaussin; le système de moniteur électrique des chemins de fer de M. Vincenzi; les anémographes de M. Hervé-Mangon; les régulateurs de lumière électrique de MM. Serrin et Gramme; la machine à graver électro-magnétique de M. Gaiffe, etc., etc. Tous ces appareils ont subi les épreuves de l'expérience et ont fourni les plus heureux résultats; plusieurs d'entre eux sont même passés dans le domaine de la pratique; espérons que les autres jouiront un jour ou l'autre du même avantage, et que nous n'aurons pas prêché depuis douze ans dans le désert!

Dans le volume que nous livrons aujourd'hui au lecteur, nous ne nous sommes guère occupé que de télégraphie électrique. C'est la partie la plus importante des applications électriques, et comme telle, celle qui a provoqué le plus de recherches. Les remarquables travaux entrepris sur la télégraphie sous-marine, tant en France qu'en Angleterre et en Allemagne, ont conduit à des résultats scientifiques et pratiques tellement importants, tellement inattendus, que j'ai cru devoir m'y arrêter d'une manière toute particulière. Aussi en outre du chapitre reservé à l'étude des câbles sous-marins, et qui ne comprend pas moins de 54 pages, ai-je consacré encore à la fin du volume une soixantaine de

pages aux remarquables expériences entreprises en Angleterre pour éclairer cette question jusque-là si obscure, et qui, faute d'avoir été élucidée en temps convenable, a coûté inutilement tant de millions. La partie descriptive des nouveaux appareils ne comprend pas moins de 240 pages, et le reste du volume est consacré à l'étude des nouveaux générateurs d'électricité, ainsi qu'aux questions techniques si utiles à connaître pour la pratique des applications électriques.

Quoique n'étant par le fait que des revues détaillées des progrès accomplis dans les applications électriques à différentes époques, les volumes que nous publions ainsi successivement, par la manière même dont les matières sont classées, se rattachent d'une manière si intime à notre *Exposé des applications de l'Électricité,* que nous avons cru devoir en faire une continuation de cet ouvrage; ils en sont en effet le complément indispensable, et, le mettant toujours ainsi à la hauteur de la science, ils l'empêchent de vieillir. Aussi nous sommes-nous décidé, dans le nouveau tirage qui a été fait de notre dernière revue, à lui restituer le titre de l'ouvrage primitif, et à la faire figurer à la suite de cet ouvrage comme tome quatrième. Celui que nous publions aujourd'hui est donc le cinquième.

Depuis la publication de l'ouvrage dont nous venons de parler, plusieurs auteurs, comprenant l'importance du sujet que nous avions embrassé, ont cherché à le traiter de leur côté à un point de vue plus ou moins spécial. C'est ainsi qu'ont pris naissance, l'ouvrage de M. de Castro, intitulé : *l'Électricité et les Chemins de fer,* dans lequel le premier volume est consacré aux applications électriques, et le second aux systèmes électriques imaginés dans le but de prévenir les accidents de chemins de fer; le *Traité général des applications de l'Électricité,* de M. Glœsener, en deux volumes, dans lequel les questions se rattachant à la chronographie électrique et à la transmission simultanée des dépêches, se

trouvent traitées d'une manière très-complète; enfin *les Applications de l'Électricité aux arts et à l'industrie*, par M. Despret, qui n'est qu'un diminutif des ouvrages qui l'ont précédé. D'un autre côté, les traités de télégraphie électrique se sont multipliés, et, ce qui est le plus curieux, c'est que des personnes complétement étrangères à cette science se sont aussi avisées de publier le leur. Parmi ces traités, les seuls qui aient une véritable valeur sont ceux de MM. Blavier, Bréguet et Schaffener; quant aux questions de détails, les *Annales télégraphiques* peuvent fournir des renseignements d'autant plus précieux qu'ils émanent de personnes véritablement compétentes. On y trouvera, par exemple, entre autres résultats intéressants au point de vue du sujet que nous traitons en ce moment, la liste des ouvrages publiés sur l'électricité dans les différentes parties du monde depuis l'an 1518 jusqu'à l'année 1862 (voir tome III, page 460, et tome IV, page 104); ce qui nous dispensera d'une plus longue revue bibliographique.

Avant de terminer ce préambule, qu'il me soit permis de soumettre au lecteur quelques réflexions que m'a suggérées souvent la lecture de beaucoup d'ouvrages écrits pourtant par des hommes de mérite.

Suivant moi, il est dans la science un double écueil qu'un savant impartial et ami avant tout du progrès doit éviter avec un égal soin : c'est d'adopter légèrement ou de repousser systématiquement une idée, une théorie ou une invention nouvelle, parce qu'elle flattera ou contrariera des idées préconçues. Sans doute, il arrive souvent que bien des idées absurdes et lancées au hasard sont présentées avec un aplomb incroyable par leur auteur; mais comme parmi ces idées il en est quelquefois de sérieuses, il me semble qu'un savant éclairé devra toujours étudier avec soin tout ce qui se fait dans la partie de la science qu'il cultive spécialement, et si son autorité scientifique est reconnue, il devra, ce me semble,

faire connaître son opinion *avec des raisons à l'appui*. Malheureusement les savants en question ne s'occupent guère que des travaux des *princes de la science*, comme ils les appellent, et de cette apathie, dont je ne chercherai pas à analyser le motif, lequel n'est quelquefois pas très-avouable, résulte une espèce d'antagonisme tacite contre les ravaux nouveaux, qu'on pourrait appeler la *conspiration du silence*, et qui est peut-être le pire de tous, car il permet aux erreurs de se propager et empêche les bonnes choses de se développer.

Il m'est donc impossible de ne pas regretter la constance, je dirais presque l'acharnement avec lequel certains auteurs persistent à publier des ouvrages incomplets, et la placidité de certain public qui, parce qu'une découverte ou une invention ne figure pas dans l'ouvrage de M. Tel ou Tel, ne croit pas à sa valeur. S'il était donné de soulever le voile qui couvre les petites rancunes, les petites jalousies, les petits intérêts qui s'agitent aussi bien dans le monde scientifique que dans le monde politique, littéraire, industriel et commerçant, que de choses inexplicables pourraient s'expliquer !!!

I

GÉNÉRATEURS D'ÉLECTRICITÉ.

CONSIDÉRATIONS GÉNÉRALES.

Depuis la publication de notre dernier volume sur les applications de l'électricité, d'importants travaux ont été faits sur la pile, tant au point de vue théorique qu'au point de vue pratique, et bien que nous ayons déjà parlé avec détails de la plupart d'entre eux, dans notre étude des lois des courants électriques, nous croyons devoir les rappeler ici en quelques mots, car ils sont d'une grande importance pour les applications électriques.

Recherches sur les constantes voltaïques.

Les qualités d'une pile dépendent, comme on le sait, des valeurs de sa force électro-motrice et de sa résistance intérieure, valeurs qu'Ohm a supposées invariables pour une même espèce de pile dans des conditions chimiques semblables, et auxquelles on a donné pour cela le nom de *constantes*. De la détermination de ces valeurs résulte la possibilité de comparer entre elles les forces des différentes piles, et d'apprécier les différents cas dans lesquels telles ou telles de ces piles peuvent être employées avec avantage. On com-

prend d'après cela que par suite de l'essor donné aux applications électriques, l'étude des constantes voltaïques a dû particulièrement préoccuper les physiciens, et nous trouvons en effet de remarquables travaux sur cette question, entrepris dans ces dernières années par MM. Ed. Becquerel, Marié-Davy, Regnault, Jacobi, etc. Moi-même je m'en suis occupé sérieusement depuis deux ans, et, grâce à ce concours de recherches, bien des points obscurs, bien des résultats contradictoires ont pu se trouver expliqués et même être prévus.

L'une des plus importantes conclusions auxquelles on est arrivé, c'est que par suite des effets de la polarisation des éléments métalliques des couples dont Ohm n'a pas tenu compte dans sa théorie, les *constantes* voltaïques désignées ordinairement par les initiales E et R ne sont pas réellement constantes, et il en résulte que la formule $I = \frac{E}{R + r}$ se trouve transformée en $I = \frac{E - e}{R + r}$, e désignant la force électro-motrice du courant de polarisation, r la résistance du circuit extérieur.

Or, de cette formule on peut déduire déjà, ainsi que je l'ai démontré dans mon mémoire sur les constantes voltaïques[1], que ces constantes doivent varier : 1° suivant la résistance du circuit extérieur; 2° suivant la durée de la fermeture du courant; 3° suivant l'état plus ou moins neuf de la pile; 4° suivant qu'elle est agitée ou en repos; faits que l'expérience démontre. En effet, si l'on considère que les effets de polarisation sont d'autant plus énergiques que l'intensité du courant est plus grande, on arrive à conclure que la force électro-motrice $E - e$ du couple devra augmenter avec la résistance du circuit extérieur, car l'in-

1. Voir les *Mémoires de la Société des sciences naturelles de Cherbourg*, tome VIII.

tensité I étant d'autant plus faible que $R + r$ est plus grand, la quantité e devient d'autant plus petite[1]. D'un autre côté, $R + r$ augmentera également et dans une proportion encore plus grande, car la quantité dont s'est affaiblie l'intensité I, par suite des effets de la polarisation, est proportionnelle à la quantité e (qui elle-même est proportionnelle à I) et se trouve indépendante de la résistance du circuit $R + r$, en raison de l'impossibilité, dans laquelle se trouve le courant correspondant à cette force électro-motrice e, de traverser le circuit ; il en résulte que la quantité I, bien que diminuée, croît et décroît dans le même rapport que si la force électromotrice E fût restée invariable. Dès lors, les lois de proportionnalité entre les intensités du courant et les résistances du circuit sont changées ; ces intensités décroissent dans un rapport plus lent que les résistances du circuit, et si on déduit celles-ci de celles-là en employant les formules d'Ohm, le rapport des résistances entières L, L' ou $R + r$, $R' + r'$ des circuits, doit être précisément augmenté de la quantité dont le rapport des forces électro-motrices est diminué. En

1. Cette influence de la polarisation saute aux yeux quand, après avoir fermé le circuit d'une pile susceptible de se polariser énergiquement par la réunion de ses deux pôles, on vient à introduire une résistance un peu considérable dans le circuit. On voit alors l'intensité du courant augmenter successivement pendant un temps plus ou moins long, suivant la nature de la pile, jusqu'à ce que la polarisation ait diminué suffisamment pour être en rapport avec le degré de résistance du circuit. C'est l'effet diamétralement opposé à celui qui se manifeste quand le circuit de la pile, après être demeuré longtemps ouvert, est fermé à travers une résistance plus ou moins grande ; l'intensité du courant diminue dans ce cas jusqu'à ce que la polarisation ait atteint le degré que comporte cette résistance du circuit, et si celle-ci est la même dans les deux cas, on finit, après un même temps de fermeture du courant, par retrouver des intensités égales en partant d'un circuit fermé aux pôles de la pile ou d'un circuit ouvert (à la condition toutefois que la fermeture aux pôles de la pile n'ait pas été plus longue que celle à travers la résistance en question). On doit avoir un grand égard à ces effets dans les déterminations des constantes voltaïques.

effet, pour conserver au rapport $\frac{l}{l'}$ la valeur $\frac{L'}{L}$ qu'il aurait sans les effets de la polarisation, la quantité L' dans l'expression $\frac{(E-e)\,L'}{(E-e')\,L}$ qui représente ce rapport pour le cas qui nous occupe est forcée d'être augmentée de manière à fournir au produit $(E-e)\,L'$ la quantité qui manque à celui-ci pour qu'il devienne égal à $(E-e')\,L'$, et, par conséquent, pour que $\frac{(E-e)\,L'}{(E-e')\,L}$ soit égal à $\frac{L'}{L}$. Par suite, la résistance L' que nous appellerons maintenant $L' + \rho'$, et qui est donnée pour l'expérience, sera fournie par l'équation $L' + \rho' = \frac{E-e'}{E-e} \times L'$, d'où il résulte que les circuits ainsi augmentés seront entre eux $:: (E-e)\,L : (E-e')\,L' : (E-e'')\,L''$, etc., c'est-à-dire croîtront avec la résistance métallique dans un rapport plus grand que les forces électro-motrices.

Maintenant il est facile de comprendre que les valeurs de R ne devront participer à l'augmentation de résistance des circuits entiers que dans le rapport de leurs résistances réciproques. Mais cette augmentation serait par le fait insignifiante, si, dans les déterminations qu'on fait de ces valeurs, on ne reportait pas sur elles l'augmentation de résistance du circuit entier. Grâce à cette erreur, les chiffres trouvés pour exprimer la constante R sont toujours beaucoup plus considérables qu'ils ne devraient être, et, pour en obtenir la véritable valeur, il faudrait déterminer, d'abord la résistance des circuits L, L' dégagés des effets de la polarisation, ce qui serait facile théoriquement au moyen des formules :

$$L' = \frac{(L' + \rho')(E - e)}{E - e'}, \qquad L'' = \frac{(L'' + \rho'')(E - e)}{E - e''},$$

et retrancher de ces résistances celles qui appartiennent

véritablement aux circuits métalliques qui leur correspondent.

J'entre dans mon mémoire dans de longs détails sur la manière dont on doit déterminer les valeurs $E - e$, $E - e'$, etc., pour fournir des résultats exacts. Mais cette question est trop mathématique et trop peu importante par elle-même pour que nous nous y arrêtions ici davantage. J'ajouterai seulement qu'au moyen de deux déterminations d'intensités I, I', faites avec des résistances différentes r, r', on peut obtenir la valeur de la quantité e, et par suite celle de la force électro-motrice véritable E. Cette valeur est donnée par les formules :

$$e = \frac{II'(R' + r') - I^2(R + r)}{I - I'}, \qquad e = \frac{(E - e') - (E - e)}{1 - \frac{I'}{I}}.$$

Quant aux autres cas de variation des constantes E et R que nous avons signalés, ils s'expliquent également avec la formule $I = \frac{E - e}{R + r}$. Ainsi elle montre que pour certains éléments susceptibles d'être dépolarisés par le mouvement de la lame négative, la force électro-motrice augmente et la résistance diminue; car, dans ce cas, la valeur de R devient $\frac{E}{I} - r$, quantité plus petite que $\frac{E - e}{I} - r$, puisque le facteur I, augmentant à mesure que e décroît, la fraction diminue plus par l'augmentation de son dénominateur qui est composé d'une quantité unique, qu'elle ne s'accroît par la plus grande valeur de son numérateur. D'un autre côté, la force électro-motrice $E - e$ devenant E, sa valeur est nécessairement plus grande. On voit encore que la valeur R doit augmenter avec le temps de fermeture du circuit, car il faut un certain temps pour que la polarisation atteigne toute son intensité, et comme pendant ce temps la

quantité I décroît à mesure que e augmente, la fraction $\frac{E - e}{I}$ augmente plus par la diminution de son dénominateur qu'elle ne diminue par le décroissement de son numérateur.

Avec les piles à deux liquides, dites dépolarisées, ces causes de variation des constantes sont, il est vrai, beaucoup moins actives qu'avec les piles à un seul liquide[1]; mais quand on emploie des circuits très-différents en résistance et que les temps de fermeture des courants sont très-inégaux, elles deviennent très-manifestes et leur intervention n'a pas dû certainement être sans influence sur les résultats si différents qui ont été donnés par les divers physiciens.

Nous devons encore signaler comme une cause de variation dont on n'a pas tenu compte dans les déterminations des constantes voltaïques, les dépôts qui se forment sur les zincs de certaines piles (comme les piles de Daniell) après un certain temps de service, et qui sont tellement polarisés en sens contraire de ce métal, que, réunis au corps même de ces lames par l'intermédiaire d'un galvanomètre peu sensible, ils déterminent un courant capable de lui faire fournir le maximum de déviation. Ces dépôts, qui sont généralement meilleurs conducteurs que les liquides de la pile, constituent avec le zinc des couples locaux qui dérivent une grande partie du courant au sein même de la pile, et alors l'intensité du courant traversant le circuit extérieur r, au lieu d'être exprimée par la formule

$\frac{E}{R + r}$, se trouve représentée par $\frac{(E - e)}{(R + r)\left(\frac{\rho}{a} + 1\right) + \rho}$,

ρ représentant la résistance de la couche liquide interposée

1. Suivant M. Ed. Becquerel, une pile de Smée peut avoir sa force électro-motrice réduite de moitié par suite des effets de la polarisation de ses éléments métalliques.

entre le zinc et la partie superficielle du dépôt, a la résistance entière de la couche constituée par ce dépôt[1]. Or, il suffit de comparer ces deux formules pour comprendre qu'avec des zincs décapés et des zincs ainsi recouverts de dépôts, les constantes ne peuvent plus être les mêmes.

A ces causes de variation des constantes qui sont purement physiques, viennent s'en ajouter d'autres qui résultent des réactions chimiques elles-mêmes. Ainsi, suivant M. Marié-Davy, les valeurs des constantes voltaïques dépendraient : 1° de l'aération de l'eau ; 2° de la quantité de sulfate de zinc dissous dans le liquide excitateur ; 3° de la concentration de la solution acide servant de liquide excitateur ; 4° de la nature du zinc et de son amalgamation ; 5° de la pureté de l'acide ; 6° de la température des liquides.

Le rôle de l'aération de l'eau serait, d'après ce savant, de contribuer à l'oxydation du zinc, de réduire par cela même la quantité d'eau décomposée, et de diminuer le travail négatif de réduction de l'hydrogène. Il montre, à l'appui de son dire, qu'une pile fonctionnant avec un liquide aéré a une force électro-motrice plus grande qu'une pile fonctionnant avec un liquide non aéré.

Le rôle du sulfate de zinc serait, en conduisant individuellement une partie du courant comme l'eau et l'acide, de fournir un travail négatif ayant pour résultat une réduction de zinc qui serait plus nuisible à l'intensité du courant que celui fourni par les deux autres liquides, et qui a pour résultat la réduction de l'hydrogène ; d'où il résulterait que

1. Bien que, pris en masse compacte, les dépôts formés sur le zinc d'une pile de Daniell soient une fois et demie meilleurs conducteurs que la solution de sulfate de zinc, disposés sous forme spongieuse comme ils se présentent sur le zinc, ils sont par le fait (surface pour surface) moins conducteurs que la solution ; par conséquent, le facteur $\frac{\rho}{a}$ ne peut jamais être qu'une fraction plus ou moins petite.

plus la solution serait saturée de sulfate de zinc, plus la force électro-motrice serait diminuée.

La pureté du zinc ne serait pas, suivant M. Marié-Davy, une condition pour qu'étant amalgamé il donnât à la pile une plus grande force électro-motrice. Du zinc du commerce lui aurait donné une plus grande force électro-motrice que du zinc distillé. Il en serait de même des acides; ainsi les acides du commerce qui contiennent toujours quelques traces de composés azotés donneraient, suivant lui, des forces électro-motrices plus grandes que les acides purs, mais, par contre, l'eau distillée donnerait une force électro-motrice plus grande que l'eau ordinaire.

Quant à l'action de la température, M. Marié-Davy, comme M. Ed. Becquerel, a toujours reconnu qu'elle est d'autant plus manifeste qu'elle s'exerce à la fois sur la force électro-motrice et sur la résistance du couple.

Quoi qu'il en soit, M. Ed. Becquerel croit qu'avec certaines précautions on peut arriver à obtenir des chiffres exacts pour exprimer les valeurs des constantes voltaïques, et dans ce but il a entrepris un travail des plus intéressants, dont nous croyons devoir donner un résumé succinct.

Recherches de M. Ed. Becquerel. — Suivant M. Ed. Becquerel, la force électro-motrice d'une pile est la résultante de trois forces électro-motrices distinctes qui se développent: 1° sur la lame positive; 2° sur la lame négative; 3° au contact des deux dissolutions quand la pile est à deux liquides.

Il fait voir que l'action de ces deux liquides s'effectue le plus souvent dans le même sens que l'action exercée sur la lame positive, ce qui contribue alors à augmenter l'énergie du courant produit; mais que quelquefois, comme dans la pile de Daniell, cette action est inverse et s'exerce au détriment de l'effet électrique produit [1].

1. Avec la pile de Grove, cette force électro-motrice développée au

Quant aux forces électro-motrices développées sur les lames polaires, M. Becquerel montre :

I. Qu'elles sont d'autant plus grandes que l'action chimique est plus vive : qu'en conséquence les métaux doivent être rangés dans l'ordre suivant :

Pour la solution acidulée avec de l'acide sulfurique :

1° Zinc amalgamé; 2° zinc pur; 3° cadmium; 4° plomb; 5° étain; 6° fer; 7° aluminium; 8° nickel; 9° cobalt; 10° cuivre; 11° bismuth; 12° antimoine; 13° argent;

Pour la solution acidulée avec l'acide chlorhydrique :

1° Zinc amalgamé; 2° zinc pur; 3° cadmium; 4° aluminium; 5° étain; 6° plomb; 7° fer; 8° nickel; 9° cobalt; 10° cuivre; 11° bismuth; 12° antimoine; 13° argent;

Pour la solution de potasse :

1° Aluminium; 2° zinc amalgamé; 3° zinc pur; 4° étain; 5° cadmium; 6° plomb; 7° fer; 8° antimoine; 9° bismuth; 10° cuivre; 11° cobalt; 12° nickel;

II. Qu'il y a deux métaux qui conservent avec presque tous les liquides les mêmes rapports de force électro-motrice. Ce sont le zinc et le plomb, l'action de ce dernier étant les $\frac{2}{3}$ de celle du zinc;

III. Que la force électro-motrice d'une pile est d'autant plus grande que la lame polaire négative ne tend pas à développer une force électro-motrice qui ait pour effet de la constituer positivement;

IV. Qu'en conséquence l'or et le platine qui, dans toutes les solutions privées de chlorures, ne développent pas par eux-mêmes de force électro-motrice, sont éminemment propres à constituer des électrodes négatives;

contact des liquides entre dans la force électro-motrice du couple (représentée par 128) pour +20, et avec la pile de Daniell pour — 5,50 (la force électro-motrice de ce couple étant 72). Voir les *Annales du Conservatoire*, livraison d'octobre 1860.

V. Qu'il en est de même du charbon qui développe une force électro-motrice tendant à le constituer négativement, laquelle force électro-motrice peut être représentée par 4,75 dans l'eau acidulée, et par 2 dans l'acide azotique, alors que la force électro-motrice du couple est représentée par 127;

VI. Que le sens du courant avec les mêmes métaux employés comme éléments polaires peut varier suivant les dissolutions;

VII. Que la force électro-motrice la plus grande possible est celle qui résulterait d'un couple formé par l'amalgame de potassium et par une couche galvanique de peroxyde de plomb.

Voici du reste le tableau des forces électro-motrices des différents métaux, que M. Becquerel a calculées en prenant comme unité celle résultant de l'action de l'eau acidulée par l'acide sulfurique monohydraté au dixième sur du zinc distillé, puis fondu; cette unité étant représentée par 100.

	Eau acidulée, $\frac{1}{10}$ d'acide sulfurique.	Eau acidulée, $\frac{1}{10}$ d'acide chlorhydrique.	Dissolution de potasse caustique.
Amalgame de potassium.......	173,3		
Zinc amalgamé...	103,2	102,1	103,8
Zinc pur........	100,0	100,0	100,0
Cadmium......	79,2	82,4	70,5
Plomb.........	66,6	65,7	64,1
Étain...........	65,9	66,4	86,2
Fer............	61,5	61,4	84,1
Aluminium.....	51,4	82,4	109,0
Nickel..........	45,1	47,8	30,7
Cobalt..........	43,9	46,6	39,7
Bismuth........	37,2	40,7	46,2
Antimoine......	35,0	35,5	61,8
Cuivre.........	35,0	45,4	42,3
Argent..........	21,8	33,6	—
Mercure........	31,6	—	—

En partant de ces différentes données, M. Becquerel est parvenu aux nombres suivants pour la représentation des

forces électro-motrices des différentes piles aujourd'hui en usage :

	Force électro-motrice par rapport au zinc pur.
Pile de Grove avec zinc pur et eau acidulée avec de l'acide sulfurique au dixième. — Acide azotique à 36°	128,04
Id. avec zinc amalgamé	132,18
Pile de Daniell avec zinc pur, eau acidulée au dixième et eau saturée de sulfate	72,10
Id. avec zinc amalgamé	76,24

Comparées à celle de la pile de Grove représentée par 100, les forces électro-motrices des différentes piles sont exprimées :

La pile de Bunsen par	98 ou 99
La pile de Daniell avec zinc amalgamé et eau salée	60 ou 63
La même pile avec eau acidulée	57 ou 58
La pile à sulfate de plomb de M. Ed. Becquerel avec zinc amalgamé et eau salée	29 et 30
La même pile avec eau acidulée	26 et 28
La pile à sulfate de mercure	72 et 74
La pile de M. Doat au mercure et à l'iodure de potassium	32 et 32,5
La pile à bichromate de potasse, à charbon et sans diaphragme, avec insufflation d'air et dans les premiers moments de l'action	100

« La force électro-motrice, dit M. Becquerel, est indépendante de la disposition des couples, que les diaphragmes soient en porcelaine, en plâtre, en toile à voile, que les couples soient montés avec des vases à niveau constant renfermant du sulfate de cuivre, peu importe. La nature des liquides et des métaux du couple, quelle que soit la disposition de celui-ci, influe seule sur la force électro-motrice. »

Quant à l'action de la température sur cette force électro-motrice, M. Becquerel a remarqué qu'elle était manifeste,

mais à un degré peu marqué. Ainsi, en soumettant un élément de Grove à deux températures différentes, variant de 14° à 90°, il a reconnu que sa force électro-motrice n'avait augmenté entre ces deux limites que de 0,04 de sa valeur. Il croit d'ailleurs que cette augmentation doit être attribuée principalement à l'action des deux liquides l'un sur l'autre, qui est alors plus vive, et un peu à l'action chimique plus énergique exercée sur le zinc.

Après avoir étudié tout ce qui avait rapport à la force électro-motrice des piles, M. Ed. Becquerel s'occupe de leur résistance intérieure. Il montre que cette résistance est considérable dans les piles à deux liquides, principalement à cause des diaphragmes poreux, qui sont du reste très-variables dans la résistance qu'ils opposent à la conduction du courant, tant à cause de leur nature différente et de leur épaisseur, que de la manière dont ils se comportent vis-à-vis les liquides qui les traversent, et de la nature des incrustations qui se forment dans leurs pores. On peut en juger par les nombres suivants qui représentent la résistance de vases poreux en porcelaine dégourdie, de diverses épaisseurs, avec les dissolutions de sulfate de cuivre et de sulfate de zinc.

	Avec solution de sulfate de cuivre.	Avec solution de sulfate de zinc.
Vase poreux de 13 centimètres de hauteur sur 5 de diamètre, et de 3 millimètres d'épaisseur	232,9	342,0
Id., *id.*, de 4 millimètres d'épaisseur	342,7	440,4
Id., *id.*, de 5 millimètres	365,0	470,10
Diaphragme en toile à voile	84,8	—
Id. en vessie	141,4	—

Il résulte de ces variations de résistance que les chiffres des résistances des piles ne peuvent être établis d'une manière bien nette. Cependant M. Ed. Becquerel les calcule de la manière suivante :

	Résistance du couple en fil télégraphique de 4 millimètres.
Élément de Grove, zinc extérieur, platine dans le vase poreux, dimensions des éléments de pile des lignes télégraphiques, variant de.........	19m,28 à 13m,86
Élément Bunsen, ancien modèle, mêmes dimensions que le précédent, variant de............	20m,24 à 16m,00
Élément Daniell de mêmes dimensions..........	180m,18
Élément à sulfate de plomb de M. Becquerel.....	225m,8

Ces déterminations ont fait voir à M. Becquerel un fait important qui altère un peu l'exactitude des formules d'Ohm dans leur application aux piles à deux liquides ; c'est que la diminution de résistance de ces sortes de piles, à mesure qu'on augmente les dimensions des lames polaires, n'est pas proportionnelle à l'augmentation de la surface de celles-ci, et cela par suite de l'intervention des vases poreux dont l'épaisseur varie avec la grandeur des couples et de l'éloignement différent des lames polaires elles-mêmes.

D'un autre côté il a pu reconnaître l'immense influence de la température sur cette soi-disant constante des couples voltaïques. Ainsi un couple de Grove, ayant les dimensions des couples télégraphiques et fournissant 119,81 de résistance à 14°,15, a eu cette résistance réduite à 91,98, à 72° de température. La résistance d'un couple de Bunsen, de mêmes dimensions, qui était 79,78 à 18°, a été réduite à 58,39, à cette même température de 72°. Enfin la résistance d'un élément Daniell, de mêmes dimensions, qui était 152,66 à 14°,4, s'est trouvée réduite à 101,47 à 68°. M. Becquerel admet du reste qu'on peut calculer la résistance d'une pile à une température donnée au moyen de la formule:

$$R_t = R_0 (1 - \alpha t),$$

le coefficient α ayant pour valeur:

Pour la pile de Grove..................... 0,0038

Pour la pile de Bunsen	0,0050
Pour la pile de Daniell	0,0057

La méthode que M. Ed. Becquerel a employée pour la détermination des forces électro-motrices est celle de Fechener, à laquelle il a appliqué, comme appareil destiné à la mesure des intensités, la balance magnétique ; cette méthode consiste à introduire dans le circuit une résistance assez grande pour que la valeur de R dans la formule $I = \frac{E}{R+r}$ puisse être négligée. Dès lors la force électro-motrice est donnée par la formule $E = I\,r$. Mais comme cette résistance r est fournie par le fil de l'électro-aimant de la balance magnétique elle-même, qui représente 312378 mètres d'un fil de cuivre d'un millimètre de diamètre, et qu'elle est commune à toutes les déterminations, M. Ed. Becquerel supprime le facteur r et représente définitivement la valeur de E par les poids en milligrammes indiqués par la balance. Quant à la détermination de la résistance des couples, ce savant préfère la méthode d'Ohm à toutes les autres. Elle consiste, comme on le sait, à prendre deux ou plusieurs fois l'intensité du courant d'une pile avec une boussole des sinus ou des tangentes, en interposant successivement dans le circuit des résistances différentes r, r', r'' etc. La résistance R du couple se déduit alors de la formule $R = \frac{I\,r}{I - I'}$ ou de la formule $R = \frac{I'\,r' - I\,r}{I - I'}$.

Recherches de M. Th. du Moncel. — Quand il ne s'agit que de mesures comparatives, ces deux systèmes de déterminations sont très-bons ; mais quand on veut avoir des coefficients déterminés, applicables dans les formules des courants, il faut nécessairement que les valeurs de E et de R soient estimées en fonction des mêmes unités, et par conséquent avec les mêmes instruments. Les chiffres de M. Ed. Becquerel

ne peuvent donc pas être employés dans ce dernier but, et on est obligé d'en revenir, quoi qu'on fasse, à la méthode d'Ohm, qui permet de déduire la force électro-motrice des formules mêmes donnant la valeur de la résistance R. On obtient en effet de cette manière pour valeur de E (R étant connu) : $E = (R + r) I$, ou, si R n'est pas déterminé, $E = \frac{I I' (r' - r)}{I - I'}$. En employant ce système, les valeurs des constantes des piles dont nous avons précédemment parlé sont, d'après les expériences de M. Bréguet, exprimées par les chiffres suivants :

PILE DE BUNSEN (PETIT MODÈLE).

Valeur de E	9257,25
Valeur de R	194,48

ÉLÉMENT DANIELL (MODÈLE DES LIGNES TÉLÉGRAPHIQUES).

Valeur de E	5225,00
Valeur de R	1100,00

ÉLÉMENT A SULFATE DE MERCURE (MÊMES DIMENSIONS QUE L'ÉLÉMENT BUNSEN).

Valeur de E	7017,96
Valeur de R	1695,16

ÉLÉMENT A SULFATE DE PLOMB (MOYEN MODÈLE).

Valeur de E	2503,00
Valeur de R	747,00

De ces différents nombres, ceux qui représentent les valeurs des résistances R sont les seuls qui soient exprimés en unités d'un ordre déterminé, c'est-à-dire en fonction du mètre de fil télégraphique de 4 millimètres de diamètre. Les autres chiffres ne sont que des nombres abstraits qui varient suivant les rhéomètres employés, et qui n'ont de valeur que par leur rapport avec ceux des résistances $(R + r)$, lequel rapport donne la valeur de l'intensité du courant. Ils suffisent

néanmoins pour qu'on puisse comparer non-seulement les forces électro-motrices des différents couples, mais encore leur puissance électrique réciproque, car celle-ci est donnée par le rapport :

$$\frac{I}{I'} = \frac{E \times R'}{E' \times R}.$$

On peut remarquer du reste que les forces électro-motrices dont nous venons de donner la valeur sont entre elles à peu près dans le même rapport que celles indiquées par M. Becquerel ; ainsi le rapport des forces électro-motrices des piles Bunsen et Daniell est 1,77 dans un cas, 1,70 dans l'autre; celui des piles de Bunsen et à sulfate de plomb est dans un cas 3,8, dans l'autre 3,7 ; enfin celui des piles de Bunsen et des piles à sulfate de mercure est dans un cas 1,36, et dans l'autre 1,32. En revanche, les résistances R qui devraient être les mêmes dans les deux cas sont considérablement différentes; cela vient de ce que M. Becquerel a fait ses déterminations avec des résistances de circuit extérieur très-faibles, en évitant les effets de polarisation et après avoir pris soin de nettoyer convenablement les lames polaires après chaque expérience, tandis que les autres déterminations, au contraire, ont été faites avec des résistances variant de 7,000 à 14,000 mètres de fil télégraphique, après un temps très-long de fermeture de circuit et avec des éléments de pile en plein service, par conséquent dans les conditions ordinaires de leur emploi dans les applications électriques. D'ailleurs il existe, comme nous l'avons déjà fait remarquer, une foule de causes matérielles qui peuvent faire varier la résistance des piles, d'abord la plus ou moins grande épaisseur des vases poreux et leur plus ou moins grande perméabilité, le degré de concentration et d'homogénéité des solutions en présence, la surface plus ou moins grande de la lame électro-négative ; enfin la distance moyenne plus ou moins grande de cette lame au zinc. Avec

les précautions prises par M. Becquerel, les nombres qu'il a donnés peuvent être regardés comme les coefficients théoriques ou réels, si l'on veut ; mais les nombres qui précèdent peuvent être considérés comme les coefficients pratiques.

Quoi qu'il en soit, en appliquant la formule $\frac{I}{I'} = \frac{E}{E'} \cdot \frac{R'}{R}$ aux nombres qui précèdent, on reconnaît que l'élément de Bunsen est environ 13 fois plus fort que l'élément Daniell, 11 fois plus fort que l'élément à sulfate de mercure, et 22 fois plus fort que celui à sulfate de plomb de M. Ed. Becquerel. Ces nombres sont peut-être un peu forts, comme nous allons le voir à l'instant.

Les valeurs des constantes voltaïques variant pour une même pile suivant différentes circonstances, ainsi que nous l'avons vu plus haut, j'ai cherché à les déterminer dans différentes conditions, afin qu'on puisse les appliquer selon les cas.

J'ai pris soin, avant chaque observation des intensités I, I', de laisser mon circuit fermé pendant dix minutes et de répéter une seconde fois la première observation, pour que la moyenne de ces deux observations fût dans les mêmes conditions, relativement à la polarisation, que la seconde observation. Chaque détermination de constante comporte donc 3 observations faites à 10 minutes d'intervalle et par conséquent sur une fermeture de courant de 20 minutes.

J'ai cherché aussi, pour contrôler la méthode d'Ohm, à employer la méthode du galvanomètre différentiel. Cette méthode consiste, comme on le sait, à opposer l'un à l'autre deux éléments d'une même pile, les plus égaux possible en force, et à les interposer dans l'un des circuits du galvanomètre différentiel dont l'autre circuit est occupé par un rhéostat. Le courant d'un troisième élément exactement semblable aux deux autres distribue son courant dans les deux circuits et une boussole des sinus dont la résistance

est connue est de plus interposée dans le circuit du rhéostat. Enfin deux résistances additionnelles égales r et r' sont introduites dans les deux circuits. Le courant est alternativement envoyé dans les deux sens, et les observations ne sont faites que 10 minutes après chaque fermeture du circuit. Par cette méthode, la résistance R est donnée par la moitié de la moyenne des tours du rhéostat développés pour ramener l'aiguille du galvanomètre à zéro, et de ce nombre on retranche la résistance de la boussole des sinus, plus l'une des résistances additionnelles r. La valeur de E est ensuite fournie par la formule

$$E = I(R + r),$$

dans laquelle I est donné par la boussole des sinus introduite dans le circuit du rhéostat.

On a objecté à cette dernière méthode que le courant traversant les couples opposés pôle à pôle détermine des effets de polarisation qui empêchent de constater exactement la valeur de la résistance R. Cet effet a lieu effectivement, mais il se produit également, à un degré moindre il est vrai, dans une pile sous l'influence de son courant propre, et toutes les mesures qu'on peut prendre par les autres systèmes sont entachées des mêmes erreurs. Il ne faut d'ailleurs pas s'inquiéter de ce défaut, car n'est-il pas plus rationnel d'avoir pour valeur de R le chiffre représentant la somme de toutes les résistances qui se produisent dans un circuit, et dont il faut nécessairement tenir compte, que de connaître exactement la résistance matérielle du couple? C'est pourquoi nous avons toujours estimé nos constantes après 20 minutes de fermeture du circuit, car alors les effets les plus énergiques de la polarisation sont produits, et les résultats peuvent devenir comparables.

Quoi qu'il en soit, voici le résumé de nos expériences:

1° *Élément Daniell* (moyen modèle), de la dimension de ceux employés par l'administration des lignes télégraphiques (fourni par cette administration). — Cet élément, abandonné à lui-même pendant deux mois et expérimenté à quatorze reprises différentes, a fourni pour valeurs de E et de R des nombres qui ont varié pour R de 500 à 700 mètres (de fil télégraphique de 3 millimètres), et pour E de 3500 à 3700. Les moyennes générales ont donné :

	En fil de 3mm.	En fil de 4mm.
Pour valeur de E, E = ...	3514	5973
Pour valeur de R, R = ...	548	931

Une fermeture de vingt heures du circuit produite par la réunion des deux pôles n'a pas changé la valeur de ces constantes; elles auraient même plutôt augmenté. Ainsi on a trouvé [1] :

E = ...	3669	6237
R = ...	714	1213

Ces constantes, mesurées par la méthode du galvanomètre différentiel, sont en moyenne :

E = ...	3777	6420
R = ...	496	843

2° *Élément Callaud* (moyen modèle, voir p. 64). — Cet élément s'est comporté exactement de la même manière que l'élément Daniell. Il a montré la même constance et a duré le même temps. Les valeurs de E et de R pour cet élément ont varié, dans les deux mois et demi qu'a duré sa charge,

1. On remarquera qu'avec les piles à courant constant et bien chargées, la valeur de E augmente toujours avec la valeur de R; cela tient à ce que, à mesure que la résistance du circuit augmente, les effets de la polarisation deviennent moindres, et par suite la valeur $E - e$ devient plus considérable.

de 350 à 500 mètres de fil de 3 millimètres pour R, et de 3200 à 3500 pour E. Les moyennes générales ont donné :

	En fil de 3mm.	En fil de 4mm.
Pour valeur de E, E = ...	3339	5706
Pour valeur de R, R = ...	422	717

Une fermeture de vingt heures du courant n'a pas changé notablement la valeur de ces constantes.

3° *Élément Bunsen* (moyen modèle), de même dimension que les précédents, avec zinc amalgamé. — Cet élément est loin d'être constant; au bout de quelques heures de service il devient de beaucoup inférieur à l'élément Daniell. Les valeurs de E et de R, peu de temps après la charge, sont en moyenne :

	En fil de 3mm.	En fil de 4mm.
E = ...	6543	11123
R = ...	91	154

Au bout de sept heures de fermeture du circuit, sans résistance interposée, elles sont devenues :

E = ...	5319	9042
R = ...	324	550

Au bout de dix-neuf heures de fermeture du circuit :

E = ...	3089	5251
R = ...	1217	2068

Le repos a diminué, il est vrai, la valeur précédente de R; mais il n'a pas augmenté la force électro-motrice.

La valeur de R, déterminée par la méthode du galvanomètre différentiel, a été de 324 mètres pour une fermeture du circuit de dix minutes; 284 pour une fermeture du circuit de cinq minutes; 161 mètres pour une fermeture d'une

minute, et moins de 34 mètres pour une fermeture de sept secondes.

4° *Élément à acide sulfurique* (moyen modèle, voir p. 60). — Cet élément se polarise assez promptement, et sa résistance augmente considérablement quand le circuit est fermé, à cause des incrustations de sulfate de zinc qui se font dans le vase poreux; mais sa force électro-motrice se maintient assez bien. Les valeurs de E et R ont varié de 6000 à 5300 pour E et de 800 à 2000 pour R, suivant le temps de fermeture du circuit. Les moyennes générales peuvent être estimées avec une pile en bon état et n'ayant pas beaucoup servi à :

	En fil de 3mm.	En fil de 4mm.
E = ...	6091	10354
R = ...	1200	2040

Du reste, à mesure que l'eau s'infiltre dans le vase poreux et hydrate l'acide, la résistance R diminue, ainsi que la force électro-motrice, et on retombe, au bout d'une quinzaine de jours, dans les valeurs suivantes :

E = ...	5028	8547
R = ...	518	880

Le renouvellement des liquides n'exerce pas un grand effet sur cette pile; ce qui agit le plus, c'est le nettoyage du vase poreux, qui est rempli de cristallisations de sulfate de zinc, et l'immersion momentanée du charbon dans l'acide nitrique.

En employant de l'eau acidulée au cinquième de son poids pour remplacer l'acide sulfurique concentré, ce qui vaut beaucoup mieux, pour éviter les incrustations de sulfate de zinc, dont il a été question, et en mettant 30 grammes de nitrate de potasse dans l'eau acidulée baignant le zinc, ces valeurs de E et de R sont devenues

E = ...	5431	9232
R = ...	450	765

Alors une fermeture du circuit de douze heures, à travers une résistance de 8675 mètres, ne les altère pas d'une manière aussi considérable, du moins la résistance R ; on a, en effet :

E = ...	5024	8540
R = ...	409	695

Cette pile est alors assez constante.

5° *Élément à sulfate de mercure* (petit modèle, voir p. 37). — Cet élément est presque aussi constant que celui de Daniell, surtout avec des diaphragmes très-poreux. Les moyennes générales ont donné pour les valeurs de E et de R :

	En fil de 3mm.	En fil de 4mm.
E = ...	4937	8392
R = ...	304	516

Une fermeture du circuit de douze heures n'a pas altéré considérablement ces valeurs, qui ont été :

E = ...	4882	8299
R = ...	335	569

Cette valeur de R, mesurée par la méthode du galvanomètre différentiel, a été 255 mètres (en fil de 3 mill.)

Avec des éléments d'un plus grand modèle (celui des piles de Daniell, de l'administration) et avec des vases poreux peu perméables, la force électro-motrice et la résistance du couple sont un peu moindres ; on a, en effet :

E = ...	4819	8192
R = ...	225	382

Ces résultats sont un peu en contradiction avec ceux de

M. Bréguet; mais les chiffres que nous donnons ont été le résultat d'un grand nombre d'expériences faites sur plusieurs éléments, et même avec des batteries entières. M. Lemoyne, inspecteur des lignes télégraphiques, en expérimentant quinze jours de suite des batteries de dix éléments, est toujours arrivé au même résultat, même avec un circuit constamment fermé[1].

6° *Élément à acide nitrique de M. Rousse* (voir p. 55). — Le moyen modèle, celui que M. Rousse a destiné à la télégraphie, et qui a les dimensions des éléments Daniell, a une certaine énergie au moment de sa charge; mais elle ne dure pas, surtout quand le circuit est fermé, parce que la polarisation est très-forte à cause de l'affinité très-grande du peroxyde de plomb pour l'hydrogène[2]. Avec un circuit ouvert et dans les premiers jours de la charge, les valeurs de E et de R sont :

	En fil de 3mm.	En fil de 4mm.
E =	4094	6959
R =	158	268

Mais une fermeture prolongée du circuit augmente considérablement la résistance R, et diminue la force électro-motrice E, qui peuvent devenir, pour une fermeture de vingt heures :

E =	1329	2259
R =	1300	2210

Dès lors cette pile reste affaiblie, et les valeurs précédentes peuvent être portées, en moyenne, à :

1. Il a obtenu en moyenne 920 mètres (fil télégraphique de 4mm) pour résistance des petits éléments, et 354 mètres pour les grands; celle de l'élément de Daniell serait, selon lui, de 980 à 1000 mètres.

2. C'est sur ce principe que M. Planté a fondé sa batterie de polarisation dont nous parlerons plus tard.

E =	.....	2529	.....	4299
R =	.....	2228	.. ..	3787

Le grand modèle à acide nitrique pur est beaucoup plus constant. Les valeurs de E et de R, au bout de dix heures de charge, ont été, avec le cylindre de plomb :

E =	.....	4487	.....	7627
R =	.....	96	.....	163

et avec le cylindre de fer :

E =	.. ..	4123	.....	7009
R =	.....	90	.....	153

7° *Élément à sulfate de plomb* (voir p. 43). — Cette pile, avec la dernière disposition que lui a donnée M. Marié-Davy, est relativement assez constante, du moins avec un circuit ouvert. Les valeurs de E et de R, peu de temps après la charge, sont :

		En fil de 3mm.		En fil de 4mm.
E =	.....	1938	.....	3294
R =	.....	413	.....	702

Une fermeture du circuit de douze heures, à travers une résistance de 8,675 mètres, rend ces constantes :

E =	.....	1942	.....	3301
R =	.....	706	.....	1200

8° *Élément à sable et à eau salée* (voir p. 80). — Cette pile se polarise avec une telle promptitude qu'il est excessivement difficile d'en déterminer les constantes. Cependant on peut les estimer à :

		En fil de 3mm.		En fil de 4mm.
E =	.....	2592	.....	4406
R =	.....	1827	.....	3105

Une fermeture du circuit de vingt-deux heures a fait tomber l'intensité de cette pile de 17° 20′ à 5° 3′.

Quand le charbon a été préventivement trempé dans de l'acide azotique, cette pile conserve une énergie considérable pendant assez longtemps, même quand cette immersion a été faite depuis longtemps; ainsi, avec un circuit ouvert, les valeurs de E et de R, dans l'intervalle d'un mois, se sont maintenues :

En fil de 3mm.
E entre 4683 et 4019
R entre 258 et 1000

Si on compare les forces électro-motrices de ces différentes piles à celle de la pile de Bunsen qui est la plus forte, on trouve les rapports suivants :

1° Entre la pile de Bunsen	et la pile de Daniell..........	1,86
2° — — —	et la pile à sulfate de mercure.	1,32
3° — — —	et la pile à sulfate de plomb...	3,37
4° — — —	et la pile à acide nitrique étendu d'eau, de M. Rousse	1,61
5° — — —	et la pile à acide sulfurique....	1,07

Si on recherche maintenant, d'après ces nouvelles données, les forces relatives des différents éléments, on trouve que l'élément Bunsen est un peu plus de 11 fois plus fort que l'élément Daniell; qu'il est 4 fois 1/2 plus énergique que l'élément à sulfate de mercure, et plus de 15 fois plus puissant que l'élément à sulfate de plomb. Le désaccord qui existe entre M. Bréguet et moi sur ces rapports de force tient uniquement aux différences de résistance des couples.

Recherches de M. Marié-Davy. — M. Marié-Davy, préoccupé depuis longtemps de la pensée d'assimiler les effets des courants produits par la pile à ceux d'une machine dont le travail moteur doit être égal au travail résistant total, a cherché à estimer les intensités des courants par le travail chimique qu'ils peuvent fournir. Suivant lui, les évaluations fournies

par les boussoles galvanomètres, etc., ne représentent rien à l'esprit; elles dépendent d'une échelle arbitraire, de la sensibilité plus ou moins grande des appareils, de leur construction même, et ne donnent pas une idée des effets réels qui peuvent être produits par les courants que l'on mesure; en un mot, avec les systèmes rhéométriques usités jusqu'à présent par les physiciens pour la mesure des intensités électriques, on manque d'une *unité*. Or, c'est cette unité qu'il a cherché à déterminer, et celle à laquelle il s'est arrêté représente la millième partie du courant, qui en une heure réduit 108 milligrammes d'argent dans une solution de nitrate d'argent avec des électrodes de platine.

Ce choix a été motivé par les raisons suivantes :

1° Le nitrate d'argent neutre, contenant même jusqu'à 30 pour 100 de nitrate de cuivre, donne un dépôt peu adhérent aux électrodes de platine avec des courants très-énergiques; la pesée de ce dépôt est alors facile et donne des résultats d'une grande concordance.

2° Un même courant, dont on fait varier l'intensité de 10 à 2000 en le divisant, produit des dépôts d'argent, dont les poids sont, à un ou deux dixièmes de milligramme près, exactement proportionnels à l'intensité du courant qui les produit.

3° Le dépôt d'argent effectué par les divers courants qui se superposent de même sens, ou de sens contraire, dans un même voltamètre, est égal à la somme algébrique des dépôts effectués individuellement par chacun de ces courants dans son voltamètre spécial.

4° Que ces courants émanent d'une même pile, qu'ils viennent de diverses piles de même nature ou de compositions différentes, le résultat est le même.

5° La nature, la forme et les dimensions des électrodes, le volume, le degré de concentration et la température de la dissolution, n'influencent en rien le rapport qui existe entre

l'intensité du courant et la quantité d'argent qu'il dépose par heure.

Quant à l'unité de résistance, M. Marié-Davy a adopté celle d'une colonne de mercure pur de 1 mètre de longueur sur 1 millimètre carré de section à 0°. C'est la même unité qu'a choisie dernièrement M. Siemens, et qu'on désigne maintenant sous le nom d'*unité Siemens*, bien qu'à vrai dire M. Pouillet l'ait proposée dès l'origine de ses recherches. Cette unité a une résistance équivalente à environ 98 mètres de fil télégraphique de 4 millimètres de diamètre.

Voici maintenant comment il emploie ces deux unités dans les déterminations des constantes voltaïques. Il commence par déterminer à combien de ses unités d'intensité de courant correspond un degré de déviation de sa boussole des sinus (il a trouvé, par exemple, que pour sa boussole, dont le fil formait cinq révolutions, ce nombre d'unités était 5,235), et il mesure ensuite les intensités de l'élément, d'abord avec un circuit sans résistance, puis avec un circuit de résistance déterminée, évaluée en fonction de son unité de résistance; il convertit alors les déviations observées en unités d'intensité, en les multipliant par 5,235, et détermine les valeurs de R et de E d'après la méthode connue. C'est ainsi qu'il est arrivé au chiffre 25,622, pour représenter la force électro-motrice d'un couple de Smée; mais ce chiffre, de même que ceux que nous avons indiqués pour les valeurs des forces électro-motrices des éléments Daniell, Bunsen, etc., ne représente absolument rien, attendu que les unités d'intensité s'effacent dans les formules (comme les valeurs trigonométriques des arcs de la boussole des sinus), par suite de leur multiplication par des quantités estimées en unités d'un ordre différent.

En partant de ce fait, démontré par M. Favre, qu'un équivalent de zinc dégage, en se dissolvant dans l'acide sulfurique étendu, 18796 calories, M. Marié-Davy conclut qu'un

courant dont l'intensité est 1, et qui dissout en une heure 0,032 milligrammes de zinc, peut fournir dans le circuit correspondant 18796 billionièmes de calorie. D'où il résulte qu'une pile de Smée, dont le circuit total est représenté par 663 unités de résistance, et la force électro-motrice par 25,622, fournit :

1° Une consommation en zinc, par heure, de....	21 millig. 22
2° Une chaleur totale, par heure, dans tout le circuit, de..................................	0,0124 calor.
3° Une chaleur, par heure, pour chaque unité de résistance, de............................	0,00032 calor.
4° Un travail total, par heure, en kilogrammètres, de..................................	5,454

« Une pile, dit M. Marié-Davy, qui produirait avec un courant de même intensité un travail moteur primitif équivalent à un cheval-vapeur, devrait donc être formée de 49500 éléments de Smée, et si du travail moteur primitif on voulait passer au travail fourni par un électro-moteur, il faudrait, pour obtenir une force d'un cheval-vapeur, diviser ce nombre d'éléments par le rendement de la machine, ce qui, le rendement étant supposé égal à 0,20, donnerait le nombre énorme de 247500 éléments [1]. »

Des meilleures dispositions à donner à une pile.

J'ai présenté à l'Institut sur cette question trois mémoires dont je crois utile de donner ici un court résumé, en raison de l'utilité qu'on peut en tirer pour les applications électriques.

Dans le premier mémoire, je démontre que, lorsqu'on a à sa disposition une pile composée d'un nombre n d'éléments, on peut, dans certaines conditions de résistance du

1. Voir les *Recherches sur l'électricité au point de vue mécanique*, de M. Marié-Davy (Vor Masson, 1861).

circuit extérieur, l'utiliser de la manière la plus avantageuse, en la disposant par groupes, composés chacun de plusieurs éléments réunis en quantité, et en réunissant ces groupes eux-mêmes en tension. Je fais voir que les limites de résistance du circuit extérieur r, auxquelles ce mode de groupement cesse de présenter des avantages réels, sont atteintes lorsque la résistance r est égale : d'un côté, à la moitié de la résistance totale de la pile, c'est-à-dire à $\frac{nR}{2}$, et de l'autre à la moitié de la résistance intérieure d'un seul élément, c'est-à-dire à $\frac{R}{2}$. Mais je montre aussi qu'entre ces deux limites, le groupement de la pile doit être fait par éléments triples, quadruples, quintuples, etc., quand r est inférieur à $\frac{nR}{3}$, à $\frac{nR}{4}$, à $\frac{nR}{5}$, etc., et supérieur à $\frac{R}{3}$, à $\frac{R}{4}$, à $\frac{R}{5}$. Pour arriver à ces déductions, je pose, comme formule générale de l'intensité du courant avec les piles disposées en séries, l'équation

$$I = \frac{nE}{aR + br},$$

E représentant la force électro-motrice, n le nombre total des éléments, a le nombre de groupes, b le nombre d'éléments en quantité de chaque groupe, et R la résistance intérieure de chaque élément de pile.

En égalant successivement cette formule aux expressions $\frac{nE}{nR + r}$ et $\frac{nE}{R + nr}$ qui représentent l'intensité de la même pile, disposée entièrement en tension et en quantité, on trouve, pour valeurs limites de r, Ra et $\frac{R}{b}$, ou $\frac{nR}{b}$, et $\frac{R}{b}$. De telle sorte qu'en faisant b successivement égal à 2, 3, 4, 5, etc., on trouve que les valeurs correspondantes de r sont

$\frac{nR}{2}$ et $\frac{R}{2}$, $\frac{nR}{3}$ et $\frac{R}{3}$, $\frac{nR}{4}$ et $\frac{R}{4}$, etc. Je déduis de là la règle générale pour reconnaître, suivant la valeur de r, quel mode de groupement de la pile il faut employer. (Voir mon *Étude des lois des courants électriques*, de la page 63 à la page 71.)

Le deuxième mémoire est une sorte de complément au précédent ; il traite des moyens de calculer les valeurs de a et de b, dans les conditions de maxima, par rapport à l'intensité du courant. Pour obtenir ce résultat, je démontre que le maximum de la valeur de I dans la formule générale $\frac{nE}{aR + br}$ est atteint lorsque $aR = br$, et de cette équation, ainsi que de cette autre équation $n = a \times b$, je déduis $a = \sqrt{\frac{nr}{R}}$ et $b = \sqrt{\frac{nR}{r}}$. D'un autre côté, comme la formule générale devient alors $I = \frac{nE}{2aR}$ ou $I = \frac{nE}{2br}$, j'en conclus $a = \frac{2Ir}{E}$ et $b = \frac{2IR}{E}$, formules qui permettent de connaître le nombre d'éléments d'une pile et sa meilleure disposition pour obtenir une intensité donnée, le circuit extérieur seul étant donné.

En étendant ces formules au cas où un électro-aimant de résistance inconnue est interposé dans le circuit, j'arrive non-seulement à déterminer le nombre d'éléments de la pile, et sa disposition pour correspondre à une intensité donnée, mais encore à déterminer la résistance de l'électro-aimant lui-même. Je pars, pour cette détermination, de ce principe que, pour obtenir le maximum d'effet utile d'un courant, il faut que la résistance utile soit égale à la résistance du courant inutile, plus la résistauce de la pile. D'après cela, la formule générale que nous avons posée devient $\frac{nE}{2(aR + bl)} = I$: d'où $a = \frac{2blI}{bE - 2IR}$. Bien que cette équa-

tion renferme deux inconnues, elle peut être résolue facilement en faisant b successivement égal à 1, 2, 3, 4, etc., jusqu'à ce que le produit 2lR puisse se retrancher de bE.

a et b étant déterminés, la résistance intérieure de la pile se trouve connue, de sorte que la résistance de l'électro-aimant doit être égale à $aR + bl$. (Voir mon *Étude des lois des courants électriques*, pages 67 et 93.)

Les deux mémoires qui précèdent se rapportent au groupement des piles en séries symétriques, c'est-à-dire en séries composées d'éléments disposés d'une manière uniforme. Mais il était important de savoir comment varie l'intensité des courants avec des piles disposées par groupes dissymétriques, et c'est cette question qui a été traitée dans le troisième mémoire dont nous parlons.

Je démontre que la formule représentant l'intensité du courant, pour deux groupes d'un nombre a et b d'éléments, peut être représentée :

1° Par

$$I = \frac{bE(a+1)}{R(ab+1)+br},$$

quand celui des deux groupes dont le nombre d'éléments est b est disposé en quantité, que l'autre groupe est disposé en tension, et que la réunion des deux groupes est faite par les pôles dissemblables ;

2° Par

$$I = \frac{\frac{aE}{b}(ab+1)}{aR + r(ab+1)},$$

quand, avec la même disposition des deux groupes, leur réunion est faite par les pôles semblables.

De la discussion de ces formules on arrive à conclure que, suivant que l'on réunit deux groupes dissymétriques en quantité ou en tension, ce qui doit dépendre de la valeur

de r, on ne peut obtenir, dans les conditions les plus favorables, qu'une intensité de très-peu supérieure à celle d'un seul des deux groupes; et même, dans le cas où l'accouplement de ces groupes n'est pas convenablement fait par rapport à E, cette intensité du double système devient moindre que celle de l'un des groupes.

Ces formules expliquent pourquoi la machine magnéto-électrique des Invalides ayant 48 bobines d'induction accouplées en tension, et 48 bobines accouplées en quantité, ne donnait guère plus de lumière électrique par la réunion de ces 96 bobines qu'avec le seul système des bobines réunies en tension, et pourquoi, dans le cas où l'accouplement des deux groupes était fait en quantité, elle donnait moins de lumière.

Je termine ce mémoire par les formules qui se rapportent à trois groupes dissymétriques différemment disposés, et je montre que ces formules, pouvant s'appliquer à des éléments simples de grandeur et de nature différentes, expliquent des effets qu'on n'aurait pas soupçonnés tout d'abord. (Voir mon *Étude des courants électriques*, de la page 178 à la page 182.)

Rôle de l'amalgamation du zinc dans les piles.

On sait que le zinc amalgamé, quoique s'oxydant moins vite dans une pile que le zinc ordinaire, développe pourtant une force électro-motrice plus grande. A quelle cause doit-on attribuer ce phénomène qui paraît un peu en désaccord avec la théorie électro-chimique? Telle est la question qui préoccupe, depuis bientôt vingt ans, les physiciens, bien que bon nombre d'explications plus ou moins satifaisantes en aient été données. Nous avons déjà vu, dans le premier volume de notre exposé, que l'un des principaux effets du mercure dans son amalgamation avec le zinc était la destruction d'une infinité de couples locaux résultant de l'intervention

de métaux étrangers dans la composition de ce métal. Mais, d'après les recherches de M. Regnault, il paraîtrait que l'effet principal de cette amalgamation serait d'augmenter l'état électro-positif du métal lui-même. Le zinc pur amalgamé fournit en effet les mêmes résultats avantageux que le zinc du commerce amalgamé, et, dans ce cas, il est évident que les couples locaux n'existent pas. Il restait à expliquer comment l'amalgamation pouvait produire un accroissement du pouvoir électro-positif du zinc, et c'est ce à quoi M. Regnault est parvenu en étudiant le rôle de l'amalgamation sur les différents métaux. Or ses recherches l'ont conduit aux conclusions suivantes :

1° Toutes les fois qu'un métal est amalgamé, sa position dans l'échelle des affinités subit une modification ;

2° La résultante peut être de sens contraire, même pour des métaux voisins, car elle dépend à la fois de la fonction chimique du métal et *de sa chaleur latente de fusion ;*

3° Lorsqu'il se produit un abaissement de température pendant la combinaison du métal avec le mercure, et que, partant, la chaleur de constitution de l'amalgame est plus grande que celle du métal, ce dernier s'élève dans l'ordre des affinités positives ;

4° Dans le cas où l'ensemble des phénomènes est inverse, c'est-à-dire quand il y a dégagement de chaleur pendant la formation de l'amalgame, le métal amalgamé devient électro-négatif par rapport au métal libre.

Or, c'est parce que le zinc en se liquéfiant dans le mercure fixe plus de chaleur qu'il n'en perd en se combinant avec lui, en un mot, parce qu'il provoque un abaissement de température, qu'il devient plus électro-positif. Le cadmium, métal bien voisin du zinc, produisant par son amalgame un effet diamétralement opposé, devient au contraire électro-négatif par rapport à ce qu'il était dans son état de pureté.

Enfin, le fer amalgamé se trouvant dans les mêmes con-

ditions que le zinc, s'élève comme lui dans l'ordre des affinités positives.

Pourquoi le zinc amalgamé est-il moins attaqué que le zinc non amalgamé? Telle est la question que M. d'Alméida a cherché à éclaircir. Les uns ont voulu expliquer cet effet par une homogénéité donnée à la surface du zinc par suite de l'amalgamation; les autres, par la présence d'une couche d'hydrogène sur cette surface. M. d'Alméida fait voir que la première de ces deux explications n'est pas exacte, car, si le zinc devient, par l'amalgamation, moins oxydable, l'aluminium le devient au contraire davantage. Quant à la seconde, il croit qu'elle est la seule admissible, et montre à l'appui de son opinion que l'amalgamation d'un métal quelconque a toujours pour effet de fixer l'hydrogène. Ainsi une pile zinc et cuivre, dont le cuivre est amalgamé, finit par ne plus fonctionner au bout de quelques instants par suite des bulles d'hydrogène qui s'y accumulent. Une électrode négative amalgamée dans un électrolyte donne lieu à une polarisation beaucoup plus grande.

M. d'Alméida croit que cet effet tient uniquement à ce que l'amalgame a pour effet de rendre unies et polies les surfaces métalliques avec lesquelles le mercure est combiné, et, comme preuve, il montre que quand la lame négative d'une pile est construite avec un métal quelconque, parfaitement poli, les bulles d'hydrogène se déposent en grande quantité sur cette lame, et réagissent comme si celle-ci était amalgamée. Il croit même que c'est à cette propriété que le zinc pur doit de ne pas être attaqué facilement par l'eau acidulée, ce liquide ayant pour effet de rendre sa surface très-polie.

Cette propriété des surfaces polies et des amalgames avait, du reste, été déjà reconnue par M. Smée qui l'attribue à un phénomène d'adhérence hétérogène. « Une surface polie détermine, dit M. Smée, l'adhérence d'un corps avec assez de

force pour contre-balancer la tendance du fluide gazeux à s'élever vers la surface du liquide. Cette force doit avoir une grande énergie si l'on considère la différence de pesanteur spécifique de l'hydrogène et de l'eau. En rendant la surface rugueuse, à l'aide d'un gros papier de verre, on empêche, jusqu'à un certain point, cette adhérence [1]. »

Incrustations des vases poreux.

Bien que les incrustations de cuivre qui se font à travers les pores des vases poreux des piles de Daniell diminuent leur résistance, ainsi que je l'ai démontré il y a déjà longtemps [2], elles sont pourtant un inconvénient, car elles finissent par boucher ces pores et fendre les vases; il serait donc utile de pouvoir empêcher cet inconvénient, et le meilleur moyen, suivant M. Smée, est d'empêcher que les plaques polaires touchent directement ces vases. M. Froment, en mettant ce principe à exécution, est arrivé, en effet, à avoir des piles de Daniell chargées pendant un an, sans que les vases poreux soient recouverts du moindre dépôt de cuivre.

Conditions que doit réaliser une pile suivant les différentes applications auxquelles on veut la soumettre.

Dans les applications électriques qui exigent un circuit très-résistant, la principale qualité d'une pile est d'avoir une force électro-motrice considérable. Quand ce circuit est bien isolé, la résistance intérieure de la pile est insignifiante, car elle s'efface devant celle du circuit; de là l'emploi avantageux qu'on a fait des piles Daniell et Marié-Davy pour la télégraphie électrique. Mais quand le circuit est soumis à des

1. Voir le *Manuel de galvanoplastie*, page 34, tome I.
2. Voir mon *Étude des lois des courants*, page 44.

dérivations ou à des pertes, comme cela a lieu sur les circuits télégraphiques en temps de pluie et avec les câbles sous-marins, par suite de la conductibilité de leur enveloppe de gutta-percha, cette résistance des couples peut se faire sentir d'un manière fâcheuse ; car l'augmentation de résistance du circuit qui survient alors est d'autant plus grande que la résistance de la pile est elle-même plus grande. Nous verrons en effet que la formule donnant l'intensité du courant sur les lignes télégraphiques soumises à des dérivations est exprimée dans le cas le plus favorable par

$$I = \frac{nE\frac{a}{d}}{nR\left(\frac{a}{d} + l\right) + l \times \frac{a}{d}} \quad \text{ou} \quad I = \frac{nE}{nR\left(1 + \frac{ld}{a}\right) + l},$$

a représentant la résistance de chaque dérivation, d le nombre de ces dérivations, l la longueur de la ligne. Or cette formule ne diffère de la formule ordinaire $\frac{nE}{nR + l}$ qui exprime l'intensité I dans le même circuit sans dérivations, que par le facteur $1 + \frac{ld}{a}$ *qui multiplie la résistance de la pile*, et l'on comprend dès lors parfaitement que plus cette résistance nR sera considérable, plus l'action des dérivations sera nuisible. Cet effet sera, il est vrai, moins marqué en prenant les dérivations dans leurs conditions les plus défavorables, c'est-à-dire en les considérant appliquées au milieu du circuit, car la formule

$$I = \frac{nE\frac{a}{d}}{\left(nR + \frac{l}{2}\right)\left(\frac{a}{d} + \frac{l}{2}\right) + \frac{l}{2} \times \frac{a}{d}},$$

qui représente alors l'intensité du courant à travers la ligne, peut être mise sous la forme

$$I = \frac{nE}{nR\left(1 + \frac{dl}{2a}\right) + \frac{dl^2}{4a} + l},$$

mais l'on voit cependant que le rôle du facteur nR est encore important quand la ligne est un peu longue.

On peut donc conclure de ce raisonnement que l'on devra chercher, autant que possible, à diminuer la résistance des piles dans les applications électriques basées sur l'emploi d'un circuit électrique sujet à des dérivations ou à des pertes. Or cette résistance peut être diminuée, soit en prévenant les effets de la polarisation, soit en rapprochant l'une de l'autre les lames métalliques des couples, soit en agrandissant leur surface, soit en rendant les liquides interposés meilleurs conducteurs, soit en diminuant l'épaisseur des vases poreux, et en augmentant leur porosité, soit en les accouplant en séries d'après les règles que nous avons exposées, page 28.

PERFECTIONNEMENTS APPORTÉS AUX PILES DE BUNSEN, DE DANIELL, ETC.

Depuis l'année 1858, d'importants perfectionnements ont été apportés à la pile, et nous sommes heureux de pouvoir enregistrer cette fois un nouveau générateur qui pourra désormais, nous en sommes convaincu, lutter concurremment dans la pratique avec les piles de Bunsen et de Daniell. Nous voulons parler de la pile à sulfate de mercure de M. Marié-Davy. En raison de son importance, nous commencerons par elle, bien qu'à vrai dire elle soit à la fois une modification de la pile de Bunsen et de la pile de Daniell.

Piles de M. Marié-Davy à sulfate de mercure. — La pile de Daniell est, comme on le sait, celle de toutes les piles dont le courant a le plus de constance. Mais elle a l'inconvénient d'être très-peu énergique et de fournir des courants sans

quantité. La dissolution de sulfate de cuivre qui remplit le vase poreux finit toujours par traverser celui-ci, et, en se déposant sur le zinc, diminue la force électro-motrice de la pile, occasionne des dépenses inutiles de matière et oblige de faire de fréquents nettoyages. D'un autre côté, le cuivre se vivifie, bouche les pores des vases poreux, finit par les fendre et les rendre impropres à continuer le service. M. Marié-Davy a cherché si, parmi les sels susceptibles d'être réduits par l'hydrogène, il ne s'en trouverait pas un qui pût fournir une réaction à l'abri de ces inconvénients et qui pût développer une force électro-motrice supérieure à celle provoquée par le sulfate de cuivre. Le sulfate de protoxyde de mercure lui parut réunir toutes les conditions voulues pour obtenir ces résultats. En effet, ce sel peut être réduit par l'hydrogène plus facilement que le sulfate de cuivre, et, comme il est insoluble, sa filtration à travers les pores du vase poreux n'était pas à craindre. D'ailleurs, cette filtration pût-elle exister, elle ne pouvait avoir de conséquences fâcheuses, puisqu'il ne pouvait en résulter qu'une amalgamation du zinc, amalgamation ayant pour effet de constituer ce métal dans un état encore plus électro-positif, ainsi que cela résulte des expériences de M. Regnault. L'expérience a confirmé toutes ces prévisions, et c'est ainsi que M. Marié-Davy s'est trouvé conduit à la pile qui porte son nom et qu'il a disposée du reste de plusieurs manières, suivant les usages auxquels on veut la soumettre.

Cette pile n'est autre chose qu'une pile de Daniell, dans laquelle le sulfate de mercure est substitué au sulfate de cuivre, et c'est un prisme de charbon qui remplace la tige de cuivre. Elle se compose donc d'un vase extérieur en faïence ou en verre, d'un cylindre de zinc plongeant dans de l'eau pure, d'un vase poreux à l'intérieur du cylindre de zinc, et, au sein du vase poreux, d'un prisme de charbon entouré d'un mélange pâteux de sulfate de mercure et d'eau.

Comme ce mélange pâteux pourrait avec de grands éléments donner à la pile une grande résistance, il est bon que le vase poreux soit moins haut que le vase de verre, afin que le liquide qui remplit celui-ci passe par-dessus le vase poreux et établisse une communication liquide entre le zinc et le charbon.

La préparation de la pâte de sulfate de mercure n'offre d'ailleurs aucune difficulté. On délaye dans de l'eau le sel que l'on a préalablement bien pulvérisé; on laisse reposer, on décante, et il reste une masse pâteuse blanche légèrement jaunâtre qui constitue la matière en question. On prend ensuite le charbon que l'on tient à la main, bien au milieu du vase poreux, et on remplit complétement les vides avec de la pâte de sulfate, en s'aidant d'une petite spatule en bois. On distribue la liqueur décantée dans le vase de verre qu'on achève de remplir avec de l'eau pure.

La force électro-motrice de cet élément dans de bonnes conditions est, comme on l'a vu, intermédiaire entre celle de la pile de Daniell et celle de la pile de Bunsen; c'est-à-dire que la force électro-motrice de cette dernière pile est 1,32 plus forte que celle de la pile à sulfate de mercure, tandis que celle-ci a une force électro-motrice 1,40 plus forte que celle de la pile de Daniell. Ces rapports sont à peu près ceux trouvés par MM. Becquerel et Bréguet. Mais pour la valeur des résistances du couple, les chifffres que nous avons donnés sont complétement différents. Cela vient sans doute de la différence de porosité des vases poreux et des effets de la polarisation qui sont tellement sensibles quand le sulfate de mercure est très-imbibé d'eau, que la résistance d'un couple, mesurée par la méthode du galvanomètre différentiel qui était 283^{m} au bout de 7 secondes de fermeture du circuit, a été portée successivement à 357 au bout de 15 secondes, à 463^{m} après une demi-minute, à 626^{m} après une minute, à 802^{m} après 2 mi-

nutes, à 975^m après 3 minutes, à 1095^m après 4 minutes[1]. Quand le sulfate de mercure est plus sec, ces effets sont beaucoup moins apparents et ont fourni une résistance uniforme de 254^m pour une fermeture de circuit de 10 minutes. Cette pile, avec des précautions convenables et des vases poreux très-perméables, est donc par le fait moins résistante qu'une pile de Daniell, et comme la force électromotrice est un tiers plus forte, elle peut lui être opposée avec avantage[2].

« L'expérience a d'ailleurs démontré, dit M. Bergon, que 38 éléments de cette nouvelle pile, sur une ligne télégraphique de 500 kilomètres à service de jour et de nuit, ont fourni la même intensité que 60 éléments Daniell et ont pu, sans frais d'entretien, faire fonctionner les appareils pendant 3 mois 27 jours. Leurs dimensions étaient pourtant plus faibles que celles des éléments Daniell, dont les effets dans les mêmes circonstances ne se sont maintenus que 2 mois et 23 jours. »

Le seul inconvénient de ces piles est le prix élevé du sul-

1. Quand, après une fermeture prolongée du courant, on retire la pile active du circuit pour mettre à la place une boussole des sinus, on voit le courant de polarisation se maintenir pendant quelque temps, puis diminuer successivement, et disparaître ensuite. — Ces effets de polarisation se retrouvent encore d'une manière bien prononcée quand, après avoir fermé quelque temps le circuit d'une pile de ce genre par la réunion de ses pôles, on interpose dans ce circuit des résistances. Ainsi, avec des résistances de 6957 mètres et 8675 mètres, une première intensité de 20° 40′ est devenue, au bout de 20 minutes, 26° 2′; et une seconde intensité de 14° 17′ est devenue, 10 minutes après, 20° 57′. Cela n'a lieu du reste que dans les premiers jours de la charge de ces sortes d'éléments.

2. Cette moindre valeur de la résistance de cette pile tient sans doute à ce que le prisme de charbon présente à la transmission électrique une surface conductrice plus grande que la simple lame de cuivre des piles de Daniell, et à ce que la distance moyenne des deux lames polaires est plus grande dans cette dernière; le liquide d'ailleurs qui humecte le sulfate de mercure est toujours fortement acidulé quand la pile fonctionne depuis quelques jours.

fate de mercure et les dangers que présente sa manipulation; mais ces inconvénients sont bien compensés par la plus grande durée de leur charge, leur plus grande force électromotrice, qui permet de réaliser un effet donné avec moins d'éléments, et par la conservation indéfinie des vases poreux. D'ailleurs, le mercure qui est réduit et qu'on retrouve à l'état métallique au fond des vases poreux peut être employé.

Ces piles ont été employées pendant quelque temps pour les sonneries électriques. Un seul élément pouvait suffire pour faire fonctionner pendant longtemps une sonnerie de cette espèce. Mais le danger de confier à des personnes inexpérimentées l'entretien d'une pile basée sur l'emploi de substances aussi dangereuses dut faire renoncer à son emploi, et on en est revenu à la pile de Daniell. Toutefois on continue à l'employer concurremment avec la pile de Daniell, à l'administration des lignes télégraphiques françaises.

Quand il s'agit de produire une action énergique de courte durée, la pile à sulfate de mercure peut être disposée d'une manière extrêmement simple et atteindre des dimensions pour ainsi dire microscopiques. Aussi cette pile a-t-elle été utilisée avec le plus grand succès dans les appareils électro-médicaux qui, grâce à elle et à d'heureuses dispositions apportées à ces appareils par MM. Ruhmkorff et Gaiffe, ont pu être contenus dans de petites boîtes de 18 centimètres de longueur sur 9 de largeur et $3^c,5^m$ d'épaisseur. La disposition que M. Gaiffe a donnée à cette pile est des plus simples et des plus commodes; c'est une petite auge en gutta-percha de $7^c,5^m$ de longueur sur $3^c,7^m$ de largeur et 2^c de profondeur, divisée en deux compartiments carrés au fond desquels se trouvent fixées à plat deux plaques de charbon C, C′ (fig. 1). Des fils de platine AP′, C′P, CB, insérés dans le corps même de la gutta-percha, relient les deux éléments et constituent en A et B les deux appendices polaires de la pile. Pour cela, les fils AP′ C′P font saillie en P et P′, et c'est sur eux et

sur de petits taquets t et t' que les zincs viennent se poser quand la pile est chargée; le fil C'P est d'ailleurs fixé en C'

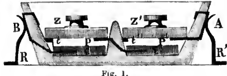


Fig. 1.

dans le charbon C' et le fil CB communique pareillement avec le charbon C; de telle sorte que les parties des fils AP', CB qui ressortent en dehors de la caisse de gutta-percha peuvent transporter les deux pôles de la pile sur deux ressorts R et R' entre lesquels celle-ci se trouve introduite quand on veut s'en servir.

Pour charger cette pile, il suffit de jeter sur les lames de charbon une pincée de sulfate de bioxyde de mercure qu'on arrose d'une quantité d'eau suffisante pour dépasser les fils P et P', et il ne s'agit plus que de poser les zincs Z, Z' sur ces fils et sur les taquets t et t' pour mettre l'appareil en marche.

Le courant que cette pile fournit peut durer suffisamment intense pendant trois quarts d'heure, mais au bout de ce temps il s'affaiblit rapidement et finit par être à peine appréciable. Le sel est devenu alors complétement jaune, et les zincs se sont trouvés recouverts d'un dépôt de mercure, ce qui en rend l'usure pour ainsi dire insignifiante. La différence qui existe entre cette pile et celle que nous avons décrite précédemment, c'est que l'une a un diaphragme poreux, tandis que l'autre n'en a pas et que le sel employé dans cette dernière, dont la formule est $SO^3 HGO$, est soluble, ou plutôt se partage en un sel acide qui se dissout, et en turbith qui se précipite.

M. Gaiffe a donné encore à cette pile une autre disposition

que nous représentons ci-dessous (fig. 2). Elle permet de régler à volonté l'intensité du courant produit, par l'écartement plus ou moins grand de la lame de zinc et de la lame de charbon. A cet effet, la lame de zinc est supportée par une tige que peut maintenir, à telle hauteur qu'on le juge convenable, une vis de pression *v*. Une pile ainsi disposée forme un très-joli petit appareil qui ne déparerait pas un cabinet de physique.

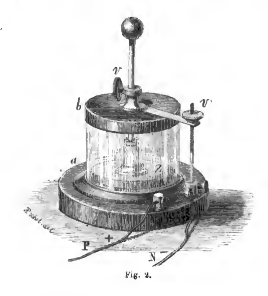


Fig. 2.

L'expérience à démontré qu'on avait tout avantage a employer pour les piles à sulfate insoluble des diaphragmes les plus poreux possible. Les cas de non-réussite de cette pile ont toujours eu pour cause un défaut de porosité de ces vases.

Piles à sulfate de plomb de M. Marié-Davy. — Le prix dispendieux du sulfate de mercure a donné l'idée à M. Marié-Davy de rechercher, parmi les sels insolubles, un autre sel moins coûteux et pouvant donner lieu à des effets analogues.

Les qualités physiques de ce sel, destiné à absorber l'hydrogène et à fournir au zinc l'acide appelé à le dissoudre, devaient donc être qu'il fût bon conducteur en même temps que facile à réduire ; or le sulfate de plomb qui s'obtient comme résidu du traitement de l'alun par l'acétate de plomb pour la préparation de l'acétate d'alumine employé en teinture, qu'on trouve, même à l'état minéral, dans certaines mines du midi de la France, lui parut réunir les conditions voulues pour former une pile pratique, d'autant mieux que celle-ci devait donner, comme résidu, du plomb à l'état métallique. C'est ainsi qu'il s'est trouvé conduit à la pile à sulfate de plomb dont on a beaucoup parlé il y a quelque temps, mais qui avait été imaginée longtemps avant lui par M. Becquerel.

Pensant qu'en raison de son insolubilité complète, le sulfate de plomb, employé comme réducteur dans une pile, pouvait constituer lui-même le diaphragme poreux de celle-ci, M. Marié-Davy a disposé sa nouvelle pile à la manière des piles primitives à colonne.

« Mes piles, dit-il, sont formées de plats en fer battu étamé, fabriquées par Japy, pour les usages domestiques. Le fond de ces vases est doublé extérieurement d'une rondelle de zinc de même dimension, fondue en forme de grille, et chacun d'eux contient une couche de sulfate de plomb de quelques millimètres d'épaisseur noyée dans une couche d'eau pure, ou contenant du sel de zinc en dissolution ; tous ces vases sont placés parallèlement les uns au-dessus des autres, de manière que le zinc d'un élément plonge dans l'eau de l'élément inférieur. Quarante éléments ainsi disposés forment une colonne qui ne dépasse pas un mètre de hauteur.

« L'emploi des sels de plomb présente un autre avantage. J'ai badigeonné au pinceau, d'un côté seulement, une feuille de papier épais et non collé avec du sel de plomb broyé dans un peu d'eau légèrement gommée ; ce papier a été coupé en rondelles, et j'ai monté une pile de Volta fer-blanc, zinc,

papier au sel de plomb. Trois de ces éléments ont fait marcher six heures une sonnerie électrique à fil court. »

Nous devons dire, toutefois, que cette pile n'a pas réalisé les espérances qu'on en avait conçues dans l'origine. Le dépôt de plomb qui se formait sur le zinc au préjudice de la force électro-motrice développée, et qui se produisait à travers même les diaphragmes de flanelle et de papier épais qu'on avait fini par placer au-dessus de la couche de sulfate, rendait cette pile tellement inconstante que son énergie disparaissait en peu de temps. Elle n'avait, d'ailleurs, qu'une faible intensité, très-peu de tension, et donnait lieu à des débordements de liquide qui établissaient une communication conductrice entre les différents éléments au préjudice du courant fourni. D'un autre côté, les effets nuisibles de la polarisation étaient extrêmes dans cette pile, par suite de sa disposition verticale qui empêchait les gaz de se dégager, et de l'absorption trop lente de l'hydrogène par le sulfate de plomb. On a montré, il est vrai, qu'une sonnerie électrique avait pu marcher pendant très-longtemps avec une pile de cette nature; mais il n'y a en cela rien d'étonnant, si l'on considère que certaines sonneries sont assez sensibles pour marcher avec un seul élément à sable simplement imbibé d'eau pure.

Pour éviter les différents inconvénients que nous venons de signaler, on a fait subir à cette pile différentes transformations; on a d'abord rendu les disques de zinc indépendants des lames négatives, et, au lieu d'employer pour celles-ci des plats de fer battu, on a construit ces plats en cuivre. D'un autre côté, on a employé comme diaphragmes des vases poreux très-larges, très-bas de bords, et disposés de manière que la partie bombée des plats de cuivre pût s'y adapter hermétiquement. On pouvait alors combiner les éléments de deux manières différentes : soit en plaçant les zincs au fond des assiettes et en mettant la pâte de sulfate de plomb au fond

des vases poreux, soit en prenant la disposition inverse, c'est-à-dire en mettant le sulfate de plomb dans les assiettes et en plaçant les zincs dans les vases poreux. Ces deux dispositions ont donné des résultats plus avantageux que ceux dont nous avons parlé en premier lieu, mais il se formait toujours un dépôt de plomb du côté du zinc et un autre du côté du cuivre. De plus, les assiettes se trouvaient bien vite corrodées et devenaient mauvaises conductrices. Enfin on a abandonné la disposition verticale pour en revenir à la disposition ordinaire des piles de Daniell, et les résultats en sont, à ce qu'il paraît, très-satisfaisants; on a eu soin seulement de composer l'électrode négative avec une lame de cuivre étamé repliée sur elle-même, pour fournir une plus grande surface. M. Prudhomme n'emploie plus, du reste, d'autres éléments pour ses sonneries. Leur force électro-motrice est environ moitié de celle des éléments Daniell, comme on l'a vu page 24.

Piles à sulfate de plomb de M. Becquerel. — Comme nous l'avons déjà dit, la pile à sulfate de plomb avait été imaginée et employée il y a longtemps par M. Becquerel. Voici, en effet, ce que dit à ce sujet ce savant dans une communication faite par lui à l'Académie des sciences, le 2 avril 1860 :

« Les physiciens s'occupent en ce moment des piles à sulfate de plomb que j'ai fait connaître il y a longtemps, et dont je me suis fréquemment servi depuis, particulièrement pour le traitement des minerais de plomb argentifère. Dès 1837, (*Comptes rendus de l'Académie*, t. IV, p. 824), en mettant plusieurs substances insolubles en contact, j'étais parvenu à réduire en masse différentes substances métalliques, notamment le chlorure et le sulfure d'argent, le sulfate de plomb et le phosphate de ce métal. En 1846 (t. XXII, p. 780), j'ai montré tout le parti que l'on pouvait tirer de l'emploi des substances insolubles dans la construction des couples voltaïques à courants constants, ces couples pouvant être

composés d'un métal oxydable (de zinc ou de fer), d'un seul liquide (en général d'eau salée), et d'un conducteur en fer-blanc, ou autre, entouré d'une des substances indiquées dans le mémoire, notamment des minéraux à base d'argent, de plomb, de cuivre, et en particulier de sulfate de plomb. Je disais, page 785 : « En réunissant voltaïquement un cer-« tain nombre d'appareils pour augmenter l'intensité de l'ac-« tion électro-chimique, on a une pile à courant constant, « semblable à celles que j'ai formées il y a plus de 15 ans « (en 1829) et qui ont servi de types à toutes celles en usage « aujourd'hui. » Depuis cette époque, dans le cours de mes recherches électro-chimiques, j'ai fait usage fréquemment des piles à sulfate de plomb; j'ai exposé les principes sur lesquels elles reposent dans les cours du Muséum d'histoire naturelle, et mon fils les a exposés de son côté dans ses leçons au Conservatoire des arts et métiers.

« Les couples à sulfate de plomb étaient à un seul liquide; ils fonctionnaient, en général, avec de l'eau salée; le métal altérable était le zinc, le second élément était une tige de charbon, une lame de cuivre, de fer-blanc ou de plomb plongeant au milieu d'un sac en toile à voile ou d'un vase perméable rempli d'eau salée saturée de sulfate de plomb, ou de sulfate en suspension dans le liquide. L'intensité de l'action de ces couples provient de la dépolarisation de la lame négative par le sulfate de plomb, avec réduction du métal par l'hydrogène, de l'absence de dégagement d'hydrogène, et de ce que le sulfate de plomb est dissous par l'eau salée saturée, dans la proportion de 1 de sulfate pour 50 de dissolvant à la température ordinaire. La dissolution renferme du sulfate de plomb qui est réduit en même temps que le sulfate en masse. La cloison perméable est utile pour s'opposer à ce que le plomb, précipité sur le zinc, quand on emploie l'eau salée, ne forme pas circuit et ne détruise pas l'effet de la pile. Il y a quelques années, à l'usine de Dieuze,

on a réduit ainsi à l'état métallique des masses de sulfate de plomb de la fabrique d'acide sulfurique, et qui n'étaient d'aucun usage; mais il importe d'indiquer qu'il faut user de certaines précautions pour opérer la fusion du plomb ainsi réduit. »

Pile à sulfate de plomb de M. Ed. Becquerel. — M. Ed. Becquerel, ayant reconnu les inconvénients de la disposition de la pile employée par M. Marié-Davy, a voulu faire revenir cette pile à la forme ordinaire en profitant de la propriété particulière que possède le sulfate de plomb de pouvoir se gâcher et se prendre en masse à la manière du plâtre, après avoir été délayé dans une dissolution saturée de chlorure de sodium; en conséquence, il fait de cette substance un cylindre au milieu duquel il implante une tige de plomb, et celui-ci, étant plongé dans le vase rempli du liquide excitateur qui n'est autre que de l'eau salée, joue à la fois le rôle de vase poreux, d'absorbant de l'hydrogène et de pôle positif de la pile. Le seul inconvénient de cette pile est de n'avoir qu'une faible force électro-motrice et de présenter une grande résistance. Estimées avec l'appareil qui a servi à déterminer les chiffres que nous avons donnés pour les piles de Daniell, de Bunsen et de Marié-Davy, ces constantes sont représentées par $E = 2500$. $R = 750$ mètres. (Voir page 15.) Voici, du reste, la description que M. Ed. Becquerel a faite lui-même de ces piles :

« Le sulfate de plomb jouit de la propriété, lorsqu'on l'a délayé à l'état de pâte dans une dissolution saturée de chlorure de sodium, d'acquérir de la compacité et de durcir; d'autres chlorures donnent lieu à une action analogue. On sait que cette propriété de durcir à la manière du plâtre est partagée par différentes matières, lorsqu'elles sont imbibées par certaines dissolutions. On peut alors mouler des cylindres avec cette pâte de sulfate de plomb, en ayant soin de placer au centre une tige de cuivre, de plomb, de fer étamé, ou

même de charbon de cornue. Les cylindres, une fois desséchés, sont perméables au liquide conducteur dans lequel on les plonge, et, avec une plaque en zinc et ce liquide, ils constituent un couple à courant constant. On peut également mouler des plaques avec cette matière ; et, en faisant reposer ces plaques au fond d'un vase sur un support conducteur en cuivre, en plomb ou en fer-blanc, si l'on suspend une lame de zinc au-dessus, et que le vase renferme une dissolution de chlorure de sodium ou de l'eau acidulée, on forme également un couple à courant constant à un seul liquide et sans diaphragme. Mais, la plupart du temps, la forme cylindrique me semble préférable, ainsi que l'emploi d'un diaphragme en toile ou en porcelaine, d'un diamètre un peu plus grand que celui des cylindres.

« Tous les échantillons de sulfate de plomb ne se comportent pas de la même manière, probablement en raison des matières mélangées. Il y en a qui deviennent très-durs ; d'autres n'acquièrent pas une résistance assez grande, et ne tardent pas à se dilater dans l'intérieur des couples. Sans connaître quelles sont les conditions nécessaires dans certains cas pour éviter cet inconvénient, j'ai remarqué qu'un mélange de 100 grammes de sulfate de plomb préalablement desséché et broyé, de 20 à 30 grammes de chlorure de sodium, et de 50 centimètres cubes d'une dissolution saturée de chlorure de sodium, donnait de bons résultats ; l'addition de 20 à 25 grammes d'oxyde de plomb (massicot ou minium) augmente la dureté de la masse. Il y a du reste un moyen qui permet d'utiliser les différents sulfates de plomb, et qui sera peut-être préféré à tout autre. On enduit extérieurement le sulfate de plomb qui vient d'être moulé au moyen d'une légère couche de plâtre, ou bien l'on coule simplement le plâtre autour du cylindre en sulfate. Cette masse, recouverte d'un enduit en plâtre, étant plongée dans un liquide au milieu d'un cylindre creux en zinc, constitue

un couple; on évite, par ce moyen, que le sulfate ne se dilate, et, en outre, on n'a pas besoin de diaphragme, puisque le plâtre en tient lieu et s'oppose au contact du plomb réduit et du zinc. Ce mode d'envelopper le sulfate de plomb solide peut s'appliquer aussi à d'autres composés. Je me propose du reste de revenir sur les précautions à prendre pour obtenir des masses compactes et perméables dans les conditions les plus favorables.

« On peut former un couple avec un cylindre ou une plaque de sulfate de plomb ainsi préparée et une lame de zinc amalgamé ou non, en se servant soit d'eau salée, soit d'eau faiblement acidulée par l'acide sulfurique ; quand on emploie l'eau acidulée, la force électro-motrice est un peu moindre qu'avec la dissolution de chlorure de sodium, mais le pouvoir dissolvant de ce dernier liquide pour le sulfate de plomb fait que le zinc se couvre de plomb réduit qu'il faut enlever de temps à autre; avec l'eau acidulée, cet inconvénient n'a pas lieu.

« Les forces électro-motrices de ces nouveaux couples, comparées à celles d'un couple de zinc amalgamé : platine, eau acidulée au dixième et acide azotique, sont comme on l'a vu page 11.

Couple à acide azotique		100
Couple à sulfate de cuivre ordinaire, entre		58 et 59
Couples à sulfate de plomb en masses compactes perméables et zinc amalgamé	avec une dissolution de chlorure de sodium, entre	28 et 30
	avec l'eau acidulée par l'acide sulfurique	27

« Dans les premiers instants de l'action des couples, la force électro-motrice dépend de la nature du conducteur en contact avec le sulfate de plomb, mais aussitôt qu'il y a du plomb métallique réduit, elle acquiert une valeur constante. Il suffit donc de prendre une tige de plomb pour tige métallique centrale de ces couples.

« Lorsque ces couples fonctionnent, les masses de sulfate de plomb sont réduites à l'état métallique, et l'acide sulfurique qui en provient forme du sulfate de zinc ; on peut obtenir le plomb par fusion. Il est facile, d'après les équivalents chimiques, de connaître les poids relatifs de deux électrodes de chaque couple pour que le courant soit constant pendant toute la durée de l'action électrique. Pour 100 grammes de zinc, il faut 470 grammes de sulfate de plomb, c'est-à-dire près de cinq fois plus de sulfate que de zinc. Les masses solides perméables aux liquides et employées comme électrodes négatives, en évitant la polarisation, jouent le même rôle que les peroxydes de manganèse et de plomb, l'acide azotique et les sels métalliques réductibles ; mais leur résistance à la conductibilité, qui du reste varie à mesure que la réduction du sulfate est plus avancée, s'oppose à ce que ces couples à un seul liquide puissent être employés aux mêmes usages que les couples à acide azotique. Cependant je ne doute pas que, dans les circonstances où l'on a besoin de piles à grande résistance et de longue durée, on ne puisse les utiliser avec avantage. »

M. Denis, dans un très-intéressant travail publié dans les Mémoires de l'Académie de Stanislas de Nancy (année 1860), a démontré les avantages des piles à sulfate de plomb dont le liquide excitateur est aiguisé avec du chlorure de sodium (sel marin), et qui donne pour résidu du sulfate de soude, du chlorure de zinc et du plomb métallique. Il montre le parti avantageux qu'on pourrait tirer de ces piles dans les applications en grand de l'électricité et indique les moyens d'utiliser les résidus.

Voici du reste le résumé des expériences faites à l'administration des lignes télégraphiques avec les différentes piles dont nous venons de parler :

	Pile à sulfate de mercure. — 45 éléments.		Pile à sulfate de plomb. — 90 éléments.		Pile de Daniell. — 60 éléments.	Pile à sulfate de plomb de M. Becquerel. — 50 éléments.
	Sans R.	Avec 560kil.	Sans R.	Avec 560kil.	Avec 560kil.	Avec 560kil.
2 juin..	23°	12°	—	—	12°	—
6 juill..	17°	10°	23°	9°	12°	—
17 juill..	—	—	22°	—	—	2°
4 août..	12°	7°	4°	2°	12°	7°
3 sept..	21°	11°	A cessé de fonctionner.		14°	7°
6 oct...	14°	8°			10°	5°
3 nov...	26°	10°			13°	5°
30 nov...	24°	9°			13°	6°

Ces intensités ont été prises avec une boussole des sinus ayant un multiplicateur de 12 tours et en opérant sur une ligne télégraphique de 560 kilomètres. La pile à sulfate de mercure a, comme on le voit, très-bien réussi ; celle à sulfate de plomb avec plats en fer n'a pu fonctionner longtemps ; la pile de Daniell a très-peu varié. Enfin celle de M. Ed. Becquerel s'est bien maintenue, mais n'a pu être conservée en raison du peu d'énergie de son courant.

Pile à chlorure de plomb de M. Marié-Davy. — Le chlorure de plomb étant un corps beaucoup plus conducteur que le sulfate de plomb et susceptible d'une réduction infiniment plus facile, il a été possible à M. Marié-Davy de construire avec cette substance une pile très-énergique de petite dimension et pouvant d'ailleurs être disposée comme les piles à sulfate de plomb que nous avons décrites en premier lieu. Le plus grand inconvénient de ce système de pile est la cherté du chlorure de plomb, et c'est sans doute la raison pour laquelle elle n'a pas été employée davantage.

Nouvelle disposition de la pile de Bunsen, par M. Ruhmkorff. — Afin d'obtenir une pile qui, sous le plus petit volume

possible, pût donner une grande quantité d'électricité, condition qui était à remplir pour la mise en action de ses grands appareils d'induction, M. Ruhmkorff a employé des éléments de Bunsen plats disposés de manière à fournir à l'action du liquide excitateur une grande surface de zinc. La figure ci-dessous représente un de ces éléments. La lame de zinc Z Z

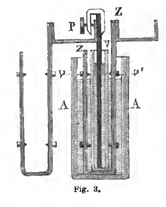


Fig. 3.

est repliée sur elle-même de manière à laisser vide un espace d'environ 4 centimètres, dans lequel on introduit le vase poreux V dont les dimensions sont : hauteur, 20 centimètres ; largeur, 17 centimètres ; épaisseur, 28 millimètres. Ce vase est maintenu à distance convenable du zinc à l'aide de petites vis calantes $v\ v'\ v''$, etc., et est construit en terre rouge anglaise qui jouit d'une grande porosité et d'une certaine conductibilité relative.

La lame négative est une grande lame de charbon très-mince ayant 23 centimètres de hauteur sur 16 centimètres de largeur et 8 millimètres d'épaisseur ; elle est reliée directement à la patte de cuivre formant l'appendice négatif de l'élément suivant, par une pince P. Enfin le tout est plongé dans un vase rectangulaire en porcelaine A A ayant 21 centi-

mètres de hauteur sur 19 centimètres de largeur et 7 centimètres d'épaisseur, dans lequel est versée l'eau acidulée. On comprend qu'avec une semblable disposition, qui se rapproche du reste de celle des piles de Wollaston, la résistance intérieure de chaque couple est considérablement réduite, et que le courant engendré se trouve notablement renforcé sous le rapport de la quantité.

Le seul inconvénient de cette pile, c'est que les vases poreux, après avoir servi, se détériorent au bout de quelque temps et finissent par se piquer et se percer sous l'influence des cristallisations de sulfate de zinc qui se forment à l'intérieur des pores. Il faudrait, pour éviter cet inconvénient, avoir soin de les plonger dans l'eau aussitôt après les avoir employés et les y laisser tout le temps qu'on ne s'en sert pas.

Cinq éléments de cette nouvelle pile suffisent pour faire produire à la nouvelle machine d'induction de Ruhmkorff des étincelles de 45 centimètres de longueur.

Pile du docteur Reinch. — Cette pile a été combinée en vue : 1° d'éviter l'inconvénient du dépôt des cristaux de sulfate de zinc qui s'attachent aux zincs d'une pile de Bunsen au bout d'un certain temps de travail, et qui forment un obstacle matériel à la propagation du courant ; 2° de réduire les dimensions des récipients où se trouvent versés les liquides. Voici quelle est la disposition de cette batterie :

On prend un vase en terre pouvant contenir de 50 à 60 grammes d'eau ; on y introduit un petit morceau de coke. Dans ce morceau de coke on perce un trou de 12 à 13 millimètres, et autour de lui on tasse une certaine quantité de petits fragments de coke concassé, débarrassés par le tamisage de la poussière fine produite par le concassage. On verse sur ces fragments de coke de l'eau régale (environ 130 grammes) et on place le tout dans le vase à eau acidulée muni de son zinc amalgamé. Le trou fait dans le morceau de coke sert à l'introduction d'un bouchon métallique

soudé à une lame de cuivre et destiné, comme dans la pile de Deleuil, à servir de lame polaire positive. Suivant M. Smée, ces éléments sont excessivement énergiques et peuvent rester pendant huit jours sans perdre sensiblement de leur force.

Dès qu'on n'a plus besoin du courant, on enlève le vase rempli de coke de la dissolution excitatrice, et on le dépose dans un verre bien sec dont le bord a été dépoli, et qu'on recouvre avec une plaque de verre.

Pile de M. Kukla. — Cette pile n'est qu'une modification de la pile de Grove dans laquelle l'antimoine est substitué au platine, et dont les liquides excitateurs sont, d'un côté, de l'acide azotique dans lequel on a jeté une petite quantité de poudre de peroxyde de magnèse, et, de l'autre, de l'eau saturée de sel marin. Avec cette pile, le zinc n'a pas besoin d'être amalgamé. Dans ces batteries on se sert d'un chapeau en gutta-percha, qui couvre l'antimoine et qui repose sur un anneau plat flottant sur la solution du zinc. Ce chapeau s'oppose au dégagement des vapeurs et maintient le peroxyde d'azote en contact avec la solution d'acide azotique.

L'antimoine doit être purifié et moulé sous forme convenable; on lui donne une surface polie et on l'attache avec des fils, des vis, des lames de plomb, de zinc ou autre métal, en le plongeant presque tout entier dans le vase poreux.

Cette pile peut encore être excitée avec d'autres liquides, avec l'acide chlorhydrique particulièrement; on emploie celui-ci, concentré avec l'antimoine, et étendu avec le zinc.

Pile à acide azotique et eau de M. Rousse. — Afin de rendre la pile de Bunsen d'un usage moins dispendieux, et surtout moins désagréable, à cause de ses émanations nitreuses, M. Rousse, professeur de physique au lycée de Saint-Étienne, a cherché à en obtenir des résidus facilement vendables, et à faire absorber les vapeurs nitreuses elles-mêmes par un corps susceptible d'acquérir par suite de cette absorption une valeur commerciale réelle.

Pour cela, il donne d'abord à la pile la forme que nous représentons ci-dessous (fig. 4).

AA est le vase poreux terminé supérieurement par une espèce de coupe; CC est le charbon, qui est aminci à sa partie supérieure, et passe à travers une espèce de godet de grès BB. Ce godet est muni, à cet effet, d'une tubulure, et son fond circulaire est à claire-voie; enfin DD est un cylindre de plomb, disposé comme les cylindres des piles Bunsen ordinaires.

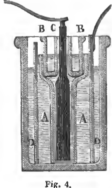


Fig. 4.

Pour exciter un pareil élément, M. Rousse n'emploie que de l'eau et de l'acide azotique. L'eau est versée dans le vase extérieur, et l'acide azotique dans le vase poreux; seulement on verse au-dessus de ce dernier, et dans le godet BB, une couche de 2 à 3 centimètres d'acide oléique. Sous l'influence de l'action électrique et de l'acide nitrique filtrant à travers le vase poreux, le plomb se trouve attaqué, et il se forme, comme résidu, du nitrate de plomb qu'on transforme aisément en céruse ou en azotate de potasse, produits qui ont une grande valeur commerciale. D'un autre côté, l'acide nitreux se trouve absorbé par l'acide oléique, et celui-ci se transforme alors en acide oléidique, corps gras et concret

qui peut être employé à la fabrication des bougies stéariques. C'est pour retirer facilement cette substance, quand elle est figée et durcie, que M. Rousse a adapté au vase poreux le godet BB qui joue, en quelque sorte, le rôle d'une écumoire.

M. Rousse prétend que cette pile a la force des éléments de Bunsen, et a une constance beaucoup plus grande; il a pu, dit-il, faire fonctionner avantageusement une pile de cette sorte de 4 éléments, pendant plus d'un mois, sans autre soin que de remplacer l'eau évaporée et de changer l'acide oléique concrété et durci par de l'acide liquide.

La force électro-motrice de cette pile (grand modèle) peut être représentée par 4489, alors que celle de Daniell est représentée par 3514; sa résistance intérieure n'est que 96 mètres. (Voir page 23.)

M. Rousse a voulu appliquer ce même système aux piles télégraphiques. Il emploie alors de petits vases poreux de 8 centimètres de hauteur, et des charbons de 10 centimètres, et, comme liquides excitateurs, soit de l'eau pure (avec le plomb) et une solution d'azotate de protoxyde de mercure cristallisé (avec le charbon), soit de l'eau pure et de l'acide nitrique à 36° étendu de deux fois son volume d'eau, soit de l'eau pure et de l'acide nitrique étendu d'eau et mélangé avec du bioxyde de plomb.

M. Rousse assure qu'une pile de ce genre de 15 éléments a fonctionné pendant deux mois et demi à la station de Saint-Étienne desservant le poste de Lyon, sans qu'on ait eu à lui apporter d'autres soins qu'une faible addition d'eau acidulée dans le vase poreux, de dix jours en dix jours. Une pile disposée de cette manière n'émet pas de vapeurs nitreuses et n'exige pas, par conséquent, d'acide oléique; elle est toujours dans un grand état de propreté, et son courant serait constant d'après l'auteur.

Nous avons essayé cette pile, mais, pour être véridique, nous devons dire que nous n'avons pu reconnaître tous les

avantages dont nous venons de parler. Nous avons bien constaté qu'au moment de la charge cette pile avait une force électro-motrice supérieure à celle de Daniell, dans le rapport de 4242 à 3500; que sa résistance n'était que de 179 mètres (en fil télégraphique de 3 millimètres), alors que celle de Daniell était de 500 mètres environ; mais le deuxième jour cette force électro-motrice était tombée à 4109, et la résistance était devenue 199 mètres. Ces valeurs se sont maintenues deux ou trois jours, le circuit étant resté ouvert; mais celui-ci ayant été fermé pendant vingt heures, la force électro-motrice est tombée à 1329, et la résistance a pu atteindre 1300 mètres. Il est vrai qu'après vingt-quatre heures de repos de la pile, cette force électro-motrice est revenue à 2776, chiffre qu'elle n'a plus dépassé, mais la résistance avait plutôt augmenté que diminué.

Cette pile d'ailleurs se polarise très-promptement en raison de l'affinité très-grande du peroxyde de plomb pour l'hydrogène. Ainsi, ayant pris son intensité alternativement avec deux circuits r et r' de 6957 mètres et de 8675, à dix minutes d'intervalle entre chaque observation (le courant restant fermé), nous avons trouvé pour la résistance de 6957 une première fois 20° 14′ et une seconde fois 17° 45′, et pour la résistance de 8675 une première fois 17° et une seconde fois 13° 46′.

La pile de Daniell de même taille, essayée concurremment avec cette pile, et ayant les mêmes dimensions, est restée, au contraire, pendant deux mois et demi, avec une force électro-motrice variant de 3500 à 3700 et une résistance variant de 500 mètres à 700 mètres. Après une fermeture du courant de vingt heures, ces valeurs n'avaient changé que d'une manière insignifiante.

Pile de Weare. — Nous avons déjà parlé, dans notre dernier volume, de cette pile, mais les nouveaux perfectionnements qui lui ont été apportés par son auteur nous forcent

d'y revenir encore une fois. Actuellement, suivant M. Weare, cette pile aurait sur celle de Daniell l'avantage de fournir un courant plus constant et plus énergique, d'être plus maniable et moins encombrante. Enfin elle aurait le privilége de permettre l'utilisation des produits résultant de l'action chimique opérée pendant son action.

En réalité, cette pile n'est qu'une pile à auges dans laquelle les éléments zinc et cuivre sont enveloppés de papier buvard et renfermés séparément dans des espèces de sacs servant de diaphragmes poreux. Ces sacs sont constitués par de petites feuilles très-minces de bois de sapin qui sont recouvertes en dedans et en dehors par un papier assez épais et suffisamment poreux pour laisser filtrer les liquides. Toutefois, pour que cette filtration ne s'opère que sur les faces de cette espèce de sac, les côtés, la partie inférieure et les bords sont recouverts d'un enduit en glu marine.

Ces sacs, munis de leur lame métallique, sont placés deux à deux ou trois à trois dans chaque auge de la pile, qui est tout entière enduite de glu marine, et les lames cuivre et zinc sont réunies d'un élément à l'autre au moyen de pattes de cuivre. Les liquides excitateurs sont le chlorure de cuivre et le chlorure de calcium dissous à saturation dans de l'eau; le chlorure de cuivre est versé dans les sacs aux cuivres, le chlorure de calcium dans les sacs aux zincs. De cette combinaison résulte la réaction suivante :

Sous l'influence de la chloruration du zinc, le chlorure de cuivre se trouve décomposé; le cuivre se porte sur la lame négative comme dans les piles de Daniell, et le chlore dégagé va réparer les pertes en chlore de la solution de chlorure de calcium. Il résulte, comme résidu, du chlorure de zinc qui a son application dans l'industrie.

Pour obtenir le chargement facile de ses éléments, M. Weare dispose au-dessus de la pile un petit réservoir composé de deux petits compartiments qui, au moyen de tubes de verre

capillaires, se trouvent mis en communication avec les différents sacs; on verse dans un de ces compartiments la solution de chlorure de cuivre, et dans l'autre la solution de chlorure de calcium, et comme ces liquides tombent goutte à goutte, d'une hauteur permanente, et se trouvent filtrés d'une manière incessante, à travers toutes les feuilles du papier buvard qui entrent dans la construction de ces sacs, les effets nuisibles de la polarisation des lames sont diminués et les liquides, après leur filtration, viennent se déverser dans un second réservoir placé au-dessous de la pile. Suivant l'auteur, ces liquides ainsi déversés peuvent servir plusieurs fois; mais nous comprenons difficilement qu'il puisse en être ainsi; car, ainsi mélangés et chargés de solutions différentes, ces liquides ne peuvent plus avoir les mêmes propriétés que les solutions primitives. Nous croyons d'ailleurs que le prix relativement élevé des sels employés et les émanations malsaines qui résultent du travail de cette pile seraient un grand obstacle à leur application, dans le cas où elle présenterait les qualités que son auteur lui suppose.

Piles à acide sulfurique concentré et eau. — Plusieurs personnes se disputent la première idée de ces sortes de piles qui ont été dans ces derniers temps, sous une forme ou sous une autre, l'objet de trois ou quatre brevets. A notre connaissance, c'est M. Taigny qui s'en serait le premier occupé, mais l'idée d'une pareille pile est tellement simple et tellement naturelle qu'il est bien possible qu'elle soit d'une date beaucoup plus ancienne que nous ne le supposons.

En principe, cette pile, qui d'apparence ressemble considérablement à une pile de Bunsen, n'est pourtant qu'une pile de Wollaston, dont la solution acidulée se trouve sans cesse entretenue par de l'acide sulfurique concentré, versé à cet effet dans le vase poreux, et qui a de plus l'avantage de réunir à la force électro-motrice développée sur le zinc celle qui résulte de l'action de l'acide sur l'eau. Elle se compose

donc : 1° d'un vase extérieur dans lequel plonge le zinc et qui, dans l'origine, ne contient que de l'eau pure ; 2° d'un vase poreux rempli d'acide sulfurique concentré ; 3° d'un charbon de cornue plongé dans cet acide.

La force électro-motrice de cette pile est considérable et se maintient longtemps constante en raison de l'acidification successive de l'eau à travers les pores du vase poreux, mais en revanche sa résistance est considérable et augmente d'une manière énorme avec la fermeture prolongée de son circuit ; ce qui tient d'une part à la mauvaise conductibilité de l'acide sulfurique concentré, et d'une autre part à des incrustations d'un précipité de sulfate de zinc qui se produisent successivement dans les pores du vase poreux sous l'influence de l'acide sulfurique, et qui finissent même, en se cristallisant, par détacher par fragments minces la paroi interne de ce vase.

Nous avons vu, page 21, quelles étaient les constantes de cet élément au moment de sa charge et après un certain temps de service, alors que l'acide s'est un peu hydraté. Dans le premier cas, sa force électro-motrice est bien voisine de celle de l'élément Bunsen ; dans le second, elle est un peu moindre, mais M. Smée prétend qu'on a alors avantage, car la résistance du couple devient moindre et les incrustations de sulfate ne se produisent plus ; c'est pourquoi il préfère à l'acide sulfurique concentré de l'acide sulfurique étendu de 5 ou 10 fois son poids d'eau, suivant la force électro-motrice plus ou moins grande que l'on veut obtenir. Mais dans ces conditions cette pile devient celle dont nous avons parlé dans nos précédents volumes sous le nom de pile de Grove, de Lavenarde, etc. M. Smée conseille d'ailleurs de ne pas employer avec ces piles des lames de charbon, mais bien des lames de cuivre ou de platine. Cette pile est du reste employée dans une partie de la Belgique.

Suivant M. Smée, on peut rendre très-constants ces sortes

d'éléments en les excitant avec une solution suffisamment concentrée de sulfate de zinc à laquelle on ajouterait un peu de sulfate de cuivre, ou bien en introduisant dans le liquide excitateur du nitrate de potasse.

« Cette pile ainsi disposée, dit M. Smée, produit des courants d'une continuité et d'une constance remarquables. J'ai eu pour celle que j'ai fait construire une déviation qui, de 14° est descendue, au bout de quinze jours seulement, à 12° avec une aiguille peu sensible. Le courant est à peu près de la force d'un élément de la pile de Bunsen, sans acide sulfurique, comme cela est nécessaire pour obtenir une certaine durée d'action. Cette pile est donc la plus constante et la plus puissante des piles à courant constant. »

M. Smée indique encore une autre disposition de cette pile, destinée à augmenter sa constance et qui est fondée sur un écoulement constant du liquide excitateur établi de telle manière que le courant liquide vienne lécher dans leur longueur les surfaces des lames cuivre et zinc. Mais cette disposition est trop compliquée pour être réellement pratique.

J'ai essayé la disposition indiquée précédemment avec du nitrate de potasse, et j'ai reconnu qu'effectivement elle offrait de réels avantages, et ces avantages peuvent être augmentés encore par l'immersion préventive des charbons dans l'acide azotique.

Pile de M. Raphaël Napoli. — Cette pile n'est autre chose que la pile précédente avec une disposition renversée et contenant en plus, pour entretenir l'amalgation du zinc, une certaine quantité de mercure. Celui-ci est versé avec l'acide sulfurique dans le vase de verre, et l'eau occupe avec le zinc le vase poreux ; de sorte qu'à l'inverse des piles ordinaires le pôle négatif est au centre du vase poreux, et le pôle positif en dehors, sur le cylindre de charbon qui, comme dans les anciennes piles de Bunsen, entoure le vase poreux. Ce charbon peut d'ailleurs être remplacé par un fil de cuivre

enroulé en hélice. Suivant M. Raphaël Napoli, il résulte de cette disposition trois réactions chimiques conspirant dans le même sens et contribuant à augmenter le développement électrique : d'abord l'acidification successive de l'eau, l'oxydation du zinc, et l'amalgamation successive de ce métal par suite de la filtration du mercure à travers le vase poreux. 30 grammes de mercure par élément suffiraient pour obtenir un très-bon résultat.

Pile de MM. Crova et Delhaumuceau. — Dans cette pile, qui n'est qu'une modification de la précédente, le zinc est semi-circulaire et se trouve placé dans le même vase que le charbon, de manière que l'un occupe un des côtés du vase, l'autre l'autre côté. Le charbon est creusé dans sa longueur, de façon à constituer un vase poreux, et se trouve adapté à un entonnoir de plomb qui sert de couvercle au vase. Celui-ci est rempli d'eau pure, mais l'entonnoir, ainsi que la cavité pratiquée dans le charbon, est sans cesse alimenté d'acide sulfurique par l'intermédiaire d'un ballon renversé rempli de cet acide. Il en résulte que ce liquide, en filtrant à travers les pores du charbon, acidifie successivement l'eau, et on peut profiter ainsi de l'action chimique produite par la combinaison des deux liquides et de celle produite par l'oxydation du zinc, laquelle est d'autant plus énergique qu'elle s'effectue alors avec de l'eau fraîchement aiguisée; les communications polaires des éléments entre eux s'effectuent avec des lames de plomb, ce qui, suivant les auteurs de cette pile, les rend inaltérables. La réaction de l'acide sulfurique sur l'eau, employée pour surexciter le développement électrique, n'est pas du reste nouvelle. Il y a longtemps M. l'abbé Laborde l'avait proposé, et on trouve plusieurs brevets, entre autres celui de MM. Marceille et Ferret, où ce système est adopté. Nous avons d'ailleurs décrit des piles analogues dans le premier volume de notre exposé.

Pile de M. Tabarié. — Dans cette pile, qui n'est autre

qu'une pile de Bunsen ordinaire, M. Tabarié remplace l'acide nitrique par un liquide composé de la manière suivante :

Acide sulfurique.........	1	litre.
Eau.....................	3	
Azotate de soude........	0,2	

L'inventeur attribue à cette solution de grands avantages.

Pile de M. J. Roudel. — Le *Cosmos* décrit cette pile de la manière suivante : « Nous prenons date pour un de nos correspondants, M. J. Roudel, professeur de physique au petit séminaire de Brives, d'une nouvelle disposition de pile à un seul liquide très-simple, assez énergique, et qui aura pour grand avantage de donner comme résidu une solution concentrée de chlorure de zinc dont l'industrie tire déjà et tirera plus encore un précieux parti. Prenez de l'argile de potier, ne faisant pas effervescence avec les acides, laissez-la sécher d'abord à l'ombre ; broyez-la avec de l'acide chlorhydrique de manière à la transformer en pâte homogène, peu résistante ; prenez un vase de porcelaine plus ou moins grand, suivant que vous voulez avoir un élément plus ou moins énergique ; déposez au fond du vase en porcelaine une plaque en cuivre ou en laiton, à laquelle est soudée une lame verticale de même métal, recouverte sur la portion plongée d'un enduit isolant ; recouvrez la lame d'une couche suffisamment épaisse de l'argile non préparée ; versez sur la couche de l'acide chlorhydrique du commerce, étendu de cinq fois son poids d'eau ; suspendez au sein de la solution acidulée un cylindre de zinc amalgamé portant une languette de cuivre ; la pile est alors constituée ; son énergie semble comparable à celle des piles connues ; elle est très-constante ; la dissolution de chlorure de zinc qu'elle produit pendant son exercice arrive à peser 20 ou 30 degrés au pèse-sel.

Pile de Callaud. — M. Callaud a donné à sa pile la forme que j'avais indiquée il y a quatre ans, et qui la rend plus

pratique; au lieu d'employer des verres à deux tubulures, comme il l'avait fait dans l'origine (voir notre *Revue des applications de l'Électricité*, page 13), il se sert de verres ordinaires et les zincs se trouvent soutenus sur leurs bords par trois crochets de cuivre qui y sont soudés. Les tiges négatives également soudées à ces zincs se terminent par une lamelle de cuivre enroulée sur elle-même et sont recouvertes dans la partie plongeant dans le liquide d'une enveloppe en gutta-percha.

Les zincs de la pile de M. Callaud n'ont que quatre centimètres de hauteur; ils ont par conséquent une surface plus petite, de moitié environ, que les zincs des piles de Daniell, et pourtant la résistance d'un élément Callaud est moindre que celle d'un élément Daniell, du moins avec les vases poreux de l'administration des lignes télégraphiques. Il est vrai que, comparée à celle des éléments de Daniell de mêmes dimensions fournis par M. Breguet, cette résistance est un peu plus grande et cette différence tient à la perméabilité différente des vases poreux. Mais une chose assez curieuse, c'est que par suite de la disposition des zincs dans la pile de Callaud, la grandeur de leur surface immergée n'exerce pas une influence très-grande sur le chiffre de la résistance du couple. Cela vient de ce que la moyenne distance des lames polaires varie dans cette pile avec la grandeur de la surface immergée, et il en résulte que si la résistance du couple est diminuée par l'augmentation de cette surface immergée, la distance moyenne de celle-ci à la lame de cuivre devient plus grande; et comme la résistance de l'eau est considérable, il y a sinon compensation, du moins diminution des avantages résultant de cette plus grande surface. Nous avons donné, page 19, les valeurs des constantes de cet élément qui sont bien voisines de celles de l'élément Daniell, surtout quand le zinc est nettoyé. L'influence de ce nettoyage est bien plus grande dans les piles de Callaud que

dans les piles de Daniell, par suite des espèces de stalactites de cuivre précipité qui se forment à la partie inférieure des cylindres de zinc et qui, tout en diminuant la résistance du couple par le rapprochement des lames polaires, réduisent considérablement la force électro-motrice. L'expérience démontre en effet que les valeurs de E et R, qui étaient avec un zinc servant depuis deux mois, E = 3407, R = 337, se sont trouvées portées par suite du nettoyage du zinc à E = 3581, R = 392.

L'avantage de cette pile est, comme nous l'avons dit, de permettre la suppression des vases poreux. Sans doute, la chute, au milieu de la solution du sulfate de cuivre, des dépôts formés autour du zinc est un inconvénient, mais comme ces dépôts sont polarisés positivement, ainsi que je l'ai reconnu dans mes recherches sur les constantes voltaïques, leur présence au milieu de la solution positive est moins nuisible au développement électrique que je l'avais cru dans l'origine. En définitive, ces piles continuent à être recherchées, et elles sont de nouveau mises à l'essai à l'administration des lignes télégraphiques françaises. M. Callaud prétend que la dépense annuelle en sulfate de cuivre de chaque élément ne dépasse pas 200 grammes.

La première idée de la pile de M. Callaud appartient à M. Gaultier de Claubry qui, dans ses recherches sur le traitement électrique des minerais métalliques, avait été conduit à employer une disposition de ce genre. Du reste, cette idée est tellement simple qu'une foule de personnes se l'approprient sans s'en douter. Ainsi les piles de M. Normann, employées dans les bureaux télégraphiques de l'Italie méridionale sont exactement les mêmes que celles de M. Callaud, sauf qu'au lieu de fils de cuivre pour constituer l'électrode négative, ce sont des lames de plomb, et que le zinc, au lieu d'être soutenu par des crochets, est maintenu par le vase de verre lui-même, qui est à cet effet plus ouvert en haut

qu'en bas. Les piles de M. Meidenger, employées dans le grand-duché de Bade, et que nous avons décrites dans notre *Revue des applications de l'électricité,* en 1857 et 1858, p. 582, en sont égalemement une reproduction sous une autre forme. Enfin, un inventeur appelé Sauvage, a pris dernièrement un brevet pour une pile du même genre, mais beaucoup plus compliquée, dont voici la disposition.

Un cylindre de verre, divisé dans sa longueur par une cloison métallique en verre, repose par une de ses extrémités sur une espèce de trépied en lames de cuivre qui le soutient à la manière des galeries de lampes. Dans l'une des cases formées par la cloison de verre est placée une tige de cuivre qui peut être maintenue par une disposition particulière à telle hauteur que l'on veut; l'autre case est remplie de cristaux de sulfate de cuivre et le tout est plongé au milieu d'un vase rempli d'eau, dont les bords soutiennent un cylindre de zinc. La solution de sulfate de cuivre se forme au fond du vase de verre, comme dans la pile de M. Callaud; elle se trouve entretenue par le sulfate de cuivre, en excès dans le cylindre de verre, et le courant peut avoir son intensité réglée au moyen de la tige de cuivre qui, en plongeant plus ou moins dans le liquide positif, diminue ou augmente la résistance du circuit.

Piles de M. Robert Houdin. — De tous les perfectionnements apportés à la pile Callaud, les plus importants sont ceux de M. Robert Houdin. Disposées comme elles l'ont été par cet habile physicien, ces piles ne semblent laisser rien à désirer pour les applications électriques délicates, qui exigent de la propreté et du soin.

L'un de ces perfectionnements, que nous représentons (fig. 5), a pour but de prolonger considérablement la durée de la charge de la pile par un moyen analogue à celui de M. Parelle, tout en empêchant les sels grimpants de se déverser en dehors. A cet effet, le cylindre de zinc E est disposé

de manière à entrer presqu'à frottement dans le vase de verre, et se trouve soutenu par un petit crochet A dont la place est entaillée sur le bord du verre. Entre les deux bords disjoints de ce cylindre de zinc se trouve placé le fil de cuivre BC qui doit constituer le pôle positif, et qui se termine inférieurement au fond du vase par un anneau de cuivre CD.

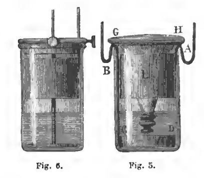


Fig. 6. Fig. 5.

Pour que ce fil reste dans cette position, il se termine à sa partie supérieure par un crochet B logé comme le crochet A dans une entaille pratiquée sur le bord du vase. De cette manière, la partie centrale de la pile est complétement libre, et on peut y plonger un vase conique renversé, rempli de cristaux de sulfate de cuivre et d'eau, lequel forme lui-même, au moyen d'une saillie GH, un couvercle hermétique à la pile. Pour établir une communication entre la solution renfermée dans ce dernier vase et celle occupant le fond de la pile, M. Robert Houdin emploie un bouchon de bois à rebord, muni de deux ressorts, dont la tension est réglée de manière à ne laisser qu'une ouverture d'un millimètre tout au plus, pour laisser filtrer le liquide. Avec cette disposition, une pile peut rester chargée pendant plusieurs mois et se trouve maintenue toujours tellement propre qu'elle peut faire l'ornement d'une cheminée.

L'autre disposition que M. Robert Houdin a donnée à la pile Callaud (fig. 6) a pour but de permettre de régler à volonté l'intensité du courant qu'elle fournit; elle consiste à fermer hermétiquement les vases de verre avec un couvercle moitié bois, moitié liége, et de faire passer au travers les tiges du cylindre de zinc et du disque négatif de cuivre. Deux vis de pression allant jusqu'à ces tiges permettent de les maintenir soulevées à une hauteur plus ou moins grande; de telle sorte que le renforcement ou l'affaiblissement du courant produit dépend de l'écartement plus ou moins grand du disque de cuivre et du cylindre de zinc. Nous devons dire toutefois pour être juste, qu'une disposition analogue avait été déjà adoptée depuis longtemps par M. Gaiffe, pour la pile à sulfate de mercure sans diaphragme poreux. (Voir p. 43).

Pile de M. Buff. — « La cause principale des changements qui s'opèrent peu à peu dans la pile de Daniell, dit M. Buff, est l'endosmose qui transporte la solution de cuivre dans celle du zinc. Non-seulement il y a du cuivre précipité ainsi par la voie chimique ordinaire et un équivalent de zinc perdu pour l'action électrique, mais de plus le cuivre, précipité sur la surface du zinc, modifie l'état de la surface du métal électro-positif, et donne ainsi naissance à des courants secondaires qui favorisent une nouvelle précipitation de cuivre, et à une perte considérable en zinc. Ces courants locaux sont également cause que les pores de la cellule en terre se remplissent peu à peu de cuivre métallique, et qu'enfin ce métal apparaît sur la surface extérieure de la cellule. Par la disposition qui suit, on réduit au minimum l'influence de l'endosmose.

« Un vase en verre i, i, à bords dépolis (fig. 7), est recouvert par un couvercle fermant bien d, d, qui est percé de trois ouvertures destinées à recevoir trois tubes cylindriques en verre. Le tube r, r, qui pénètre par l'ouverture du milieu, qui est la plus grande possible, est fermé

par le bas par une vessie. Des deux autres tubes, l'un *a*, *a* descend jusque dans une couche de mercure qui recouvre le fond du vase, et l'autre *b*, *b* débouche immédiatement à la surface de ce mercure. Le vase est rempli avec du sulfate de zinc jusqu'à la hauteur *g*, *h*, de façon que la liqueur baigne

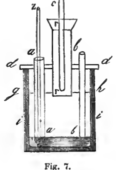


Fig. 7.

la cloison poreuse. Dans le cylindre *r*, *r*, on verse la solution cuivreuse mélangée à des morceaux solides de sulfate de cuivre. Si dans cette dernière liqueur on introduit une lame ou même un simple fil de cuivre *c*, puis dans le tube *a* un fil de zinc Z, et qu'on mette en communication *c* avec Z par un bon conducteur de l'électricité, il en résulte un courant d'une constance parfaite, puisqu'il se dissout constamment du zinc dans le mercure en quantité suffisante pour l'entretien d'une activité uniforme.

« L'endosmose, par cette disposition, n'est pas, il est vrai, complétement évitée, mais elle se produit avec une extrême lenteur, parce que la dissolution du sulfate de zinc se fait plus difficilement que celle du sulfate de cuivre. Le fil de zinc plonge et descend à mesure que son extrémité inférieure se dissout.

« Pour pouvoir remplacer facilement le sulfate de cuivre

sans arrêter le courant, on a coupé le bouchon de liége que porte le vase au cuivre, de manière qu'on puisse en enlever un segment et découvrir une ouverture sans ôter le cuivre de place. Au moyen du tube *b*, on peut au besoin retirer un peu de sulfate de zinc et le remplacer par de l'eau.

« Une expérience comparative servira à indiquer combien cette disposition est supérieure à celle ordinaire de Daniell.

« Une pile ordinaire de Daniell, dans le circuit de laquelle on avait introduit un long multiplicateur, a accusé d'abord 78°, puis après neuf jours de marche 33° seulement de déviation, tandis qu'une pile de la construction décrite ci-dessus avec introduction du même multiplicateur qui donnait en commençant une déviation de 77° 5, n'a pas présenté de changement au bout de neuf jours. Dans la pile de Daniell, on a consommé (par suite des influences locales indiquées) cent soixante-huit fois plus de zinc, et dans la nouvelle pile sept fois seulement (dans le même temps), que la quantité qui est nécessaire d'après les lois des électro-moteurs pour la production du courant; de façon que la nouvelle disposition présente non-seulement une plus grande constance, mais est, sans comparaison, beaucoup plus économique à raison des pertes moindres en zinc. »

Pile de M. Ryhiner. — Cette pile se compose : 1° d'un cylyndre en fonte de fer qui, pour augmenter sa surface oxydable, est pourvu intérieurement de mamelons pyramidaux et porte en deux points opposés de son bord supérieur deux prolongements servant de points d'attache aux conducteurs et en même temps d'anses pour le soulever; 2° d'un cylindre en grosse toile recouverte de trois ou quatre doubles de papier; 3° d'un cylindre de plomb servant de lame négative. On charge cette pile avec une solution concentrée de sulfate de cuivre d'une part et de l'autre avec de l'eau salée. Dans la première de ces solutions on introduit le cylindre de plomb, dans la seconde le cylindre de fonte. Ce dernier n'a jamais

besoin d'être nettoyé, attendu que les enduits les plus épais de rouille se dissolvent d'eux-mêmes dans l'eau salée. D'un autre côté, les dépôts de cuivre peuvent aisément être retirés des lames de plomb en raison de la flexibilité de celles-ci.

« Cette pile, dit M. Smée, opère avec une constance remarquable; elle n'a, il est vrai, qu'une faible influence sur l'aiguille aimantée, mais elle jouit d'une grande force de réduction sur les solutions de sels métalliques. »

Pile de MM. Siemens et Halske. — MM. Siemens et Halske, trouvant que la pile de Daniell se détériore facilement par suite de l'action incomplète du diaphragme poreux, qui permet aux liquides de se mélanger par voie de diffusion, et au cuivre de se précipiter sur le zinc, trouvant d'ailleurs que la disposition de la pile de M. Callaud ne peut empêcher le mélange des deux liquides, ont cherché à améliorer à ce point de vue les diaphragmes de ces sortes de piles, en les composant avec des ligneux transformés par l'acide sulfurique concentré. Suivant eux, cette matière empêcherait complétement le mélange des liquides, et la pile conserverait une action constante pendant de longs mois sans la moindre consommation inutile de sulfate de cuivre et de zinc.

La pile de MM. Siemens et Halske se compose d'abord d'un vase de verre VV (fig. 8) au milieu duquel est placée une tige de cuivre *b* terminée par quatre lames du même métal *c' c*, posées de champ au fond du vase et enroulées sur elles-mêmes. Un tube de verre A, enveloppant cette tige et appuyant sur les quatre lames est rempli de cristaux de sulfate de cuivre et se trouve maintenu par un diaphragme circulaire en carton, à travers lequel il passe. Enfin au-dessus de ce diaphragme se trouve déposée une couche de pâte de papier *ff* préparé à l'acide sulfurique concentré, et sur laquelle appuie le cylindre de zinc ZZ. De l'eau légèrement acidulée, versée dans la capacité où plonge le zinc et de l'eau pure versée dans le

fond du vase par l'intermédiaire du tube de verre, complètent la charge de l'élément. La pâte de papier formant le diaphragme poreux se tire des fabriques de papier ; on commence par la presser fortement pour enlever l'eau, puis on

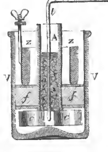


Fig. 8.

l'arrose d'une quantité d'acide sulfurique concentré égale au quart de son poids, et l'on agite la masse jusqu'à ce qu'elle ait pris une structure visqueuse homogène. Ensuite on l'arrose d'une quantité quadruple d'eau, et après en avoir expulsé ce qui reste d'eau acidifiée à l'aide d'une forte pression, on en forme des rondelles qui doivent remplir exactement l'espace laissé vide entre les parois du vase et celles du tube de verre.

Pile du R. P. Secchi. — Ayant remarqué que le niveau de la solution de sulfate de cuivre, dans les piles de Daniell, s'élève dans le vase poreux par suite de leur action prolongée, et croyant que cette élévation de niveau est contraire au développement du courant électrique, le R. P. Secchi a disposé ses piles de manière à déverser l'excès de liquide à l'aide d'un siphon formant, avec un verre à pied placé à côté, un système de vases communiquants à déversement et à niveau constants. De cette manière, il peut régler à volonté la hauteur du liquide dans les vases poreux et il croit qu'il

est important de la maintenir au-dessus de la solution acide. Il amalgame d'ailleurs les zincs, et emploie pour électrode positive une lame de cuivre roulée en cylindre.

Nous devons faire observer que l'inconvénient signalé par le R. P. Secchi, et auquel il a voulu remédier, ne se rencontre que rarement et dépend à la fois de l'état de porosité du vase poreux, de l'état de saturation des solutions et de la durée de fermeture des circuits. Si la solution de sulfate de zinc est plus concentrée que la solution de sulfate de cuivre, ce qui arrive au bout d'un certain temps de service de la pile, il y a exosmose de la solution de sulfate de cuivre au lieu d'y avoir endosmose, et le liquide s'abaisse dans les vases poreux au-dessous même du liquide contenu dans le vase poreux. Si le contraire a lieu, l'effet signalé par le R. P. Secchi se produit, mais il n'est jamais assez prononcé pour nécessiter tout l'attirail combiné par ce savant. Du reste, le plus souvent, c'est le contraire qui arrive, et il n'y a que dans le cas ou le circuit est fermé d'une manière continue que cet exhaussement du liquide dans le vase poreux serait à craindre, car il se manifesterait alors sous une influence électrique de transport opérée par le courant. (Voir pour plus de détails le *Cosmos*, tome XV, page 446.)

M. Breguet, du reste, a apporté dernièrement à ce point de vue aux piles, dites à ballon, plusieurs perfectionnements qui les rendent d'un usage tout à fait pratique. Ces perfectionnements consistent d'abord dans l'introduction au sein du ballon d'un tube I O (fig. 9) percé latéralement de deux petites ouvertures A, C qui permettent, l'une C, l'introduction de l'air à la partie supérieure du ballon, quand le liquide du vase poreux est descendu au-dessous de son niveau, l'autre A, l'écoulement du liquide saturé. Cette disposition empêche en même temps l'obstruction de l'orifice de déversement qui, de cette manière, se trouve toujours immergé. Les ballons eux-mêmes, au lieu de se trouver soutenus par les

bords du vase extérieur, sont appuyés sur un couvercle en bois, ce qui permet aux appendices polaires de sortir aisément du vase de verre.

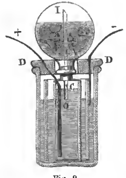


Fig. 9.

Pile de M. Joly, de Grenoble. — Afin d'éviter l'évaporation des liquides de la pile de Daniell et d'empêcher par là la production des sels grimpants qui, en recouvrant les vases contenant les solutions, établissent une communication conductrice d'un élément à l'autre au détriment du courant produit, M. Joly recouvre les liquides de cette pile d'une couche d'huile de 3 ou 4 millimètres d'épaisseur. Il croit que cette disposition a en outre l'avantage de retarder considérablement l'épuisement de sa charge.

Cette idée n'est, du reste, pas nouvelle; depuis longtemps on avait employé ce moyen pour empêcher la mauvaise odeur des piles de Bunsen, et les résultats n'ont pas toujours été heureux; non-seulement l'huile se trouvait décomposée et finissait par être rejetée en dehors de la pile sous la forme d'une écume sale et infecte, mais encore la mauvaise odeur de l'acide hypo-azotique se trouvait remplacée par celle non moins désagréable de l'huile chauffée. Dans les piles de Daniell, ces inconvénients sont moin-

dres, mais la pile est toujours au bout d'un certain temps dans un état de saleté regrettable. Les gaz provenant de la décomposition s'emmagasinent dans la couche d'huile et la rendent écumeuse, ce qui entraîne l'encrassement du vase poreux et l'obstruction de ses pores, surtout quand on emploie des huiles siccatives, comme l'huile d'œillette et l'huile de lin. Les avantages de ce système, signalés par M. Joly, sont d'ailleurs plutôt théoriques que réels. Ainsi, si les vases ont été mouillés par la solution saline qu'ils contiennent et n'ont pas été bien essuyés avant l'introduction de l'huile, le sulfate de zinc et le sulfate de cuivre grimpent toujours au-dessus de leurs bords aussi bien que s'il n'y avait pas eu d'huile dans la pile. Il ne faut pas, d'ailleurs, croire que cette propriété que possède le sulfate de zinc de grimper le long des parois des vases qui en contiennent la solution, soit seulement le résultat de l'évaporation, la capillarité en est une des principales causes. En effet, pour peu qu'un premier dépôt de sulfate se soit formé sur le verre au-dessus du liquide, celui-ci monte à travers ce dépôt qui est très-hygrométrique, absolument comme l'eau dans un mouchoir qui se trouve trempé par un bout; un nouveau dépôt se forme donc au-dessus du premier, et ces dépôts se succèdent jusqu'à ce que le sulfate ait atteint le bord du vase, après quoi il se déverse au-dessus et coule le long de la paroi externe, à la manière d'un siphon amorcé par endosmose. Le meilleur système, du reste, pour éviter ces sels grimpants est de tremper dans de la cire jaune fondue avec de la graisse les bords des vases poreux et des vases de verre jusqn'à une hauteur de 3 centimètres, après les avoir préalablement lavés avec de l'essence de térébenthine. Un pareil enduit repousse en effet l'eau et l'humidité, et empêche conséquemment les dépôts de sulfate de se produire.

Quant à l'usure de la pile et à celle de sa charge en sulfate de cuivre que M. Joly croit être plus grande avec une pile

ordinaire qu'avec sa pile recouverte d'huile, il nous est impossible de voir des raisons pour qu'il en soit ainsi, et nous croyons que pour bien constater ce fait ainsi que celui de la constance du courant, il faudrait que les expériences comparatives fussent faites avec des éléments placés identiquement dans les mêmes conditions. Or, les expériences que nous avons faites ne semblent pas donner raison à M. Joly. En effet, la polarisation des lames est plus grande avec les piles à huile qu'avec les piles ordinaires, et si les cristaux de sulfate de cuivre sont placés dans les mêmes conditions dans les deux piles, la durée de charge pour un même poids de ces matières reste à peu près la même, quand le courant n'est pas fermé. Si, au contraire, la pile fonctionne, il peut arriver que la pile ordinaire s'use plus vite que l'autre, parce que le courant qu'elle fournit est plus intense, comme le reconnaît M. Joly. Du reste, il ne faut pas s'y méprendre : la grande cause qui influe sur la durée de charge d'une pile, c'est la manière dont la solution de sulfate de cuivre se présente devant la solution de sulfate de zinc. Si les cristaux de sulfate de cuivre sont jetés au fond du vase poreux, la partie inférieure de la solution est toujours saturée de sulfate, mais au bout de quelques jours de service de la pile, la partie supérieure en est plus ou moins dépourvue et la solution est beaucoup plus résistante en dessus qu'en dessous. Cet effet a surtout des conséquences fâcheuses, quand la solution est décolorée. Ainsi, en mesurant la force électro-motrice et la résistance d'un couple dans ces conditions, nous avons trouvé :

Force électro-motrice.........	2444
Résistance du couple.........	770^{m} (fil de 3^{mm})

En agitant la solution de sulfate de cuivre, ces constantes sont devenues :

Force électro-motrice.........	3274
Résistance du couple.........	468^{m}

Or, ces valeurs, avec l'instrument que nous avons employé pour cette expérience, sont pour un élément bien chargé :

Force électro-motrice........	3336
Résistance du couple.........	445^m

On voit donc par là quelle influence exerce l'égale saturation de la solution de sulfate de cuivre, et, pour l'obtenir, il suffit de maintenir les cristaux de sulfate de cuivre à la partie supérieure du vase poreux. C'est à cet effet qu'avait été adaptée dans l'origine aux tiges plongeant dans le sulfate la petite capsule trouée qu'on retrouve encore dans certains éléments et qui devrait toujours y être adaptée.

Pile de M. Melsens. — Préoccupé sans doute d'une idée d'économie, M. Melsens a proposé comme générateur d'électricité une pile où l'urine est employée comme liquide excitateur, soit seul et sans diaphragme en présence de deux métaux, soit avec diaphragme et séparé du second liquide conducteur, soit enfin, dans l'un et l'autre cas, mêlé à certains corps qui rendraient son action plus énergique. Les observations de l'inventeur, pour prouver l'économie de ce liquide, sont fort curieuses.

Pile de M. Regnault. — Pour obtenir une pile d'une grande constance sans diaphragme poreux, M. Regnault la compose d'une série de vases remplis alternativement, les uns d'eau pure, les autres d'une solution concentrée de sulfate de cuivre. Ces vases sont mis en communication les uns avec les autres au moyen de lames de cuivre repliées de manière à plonger dans les liquides; mais une moitié de ces lames porte des plaques de zinc qui se trouvent disposées de manière que les vases remplis d'eau en contiennent toujours une et que les vases au sulfate de cuivre n'en contiennent pas du tout. La pile doit d'ailleurs avoir le nombre d'éléments nécessaire pour que les vases extrêmes soient occupés par des liquides différents et puissent constituer, par

l'intermédiaire d'une plaque de zinc et d'une plaque de cuivre plongées dans les solutions, les pôles de la pile. L'inventeur assure que cette pile est énergique et constante, mais j'avoue que je n'en saisis pas bien la théorie. Serait-ce parce que l'action électrolytique est combinée à l'action chimique qui provoque le courant, que cette pile serait constante? Ce serait bien extraordinaire, car cette action électrolytique développerait des effets de polarisation considérables.

Pile de M. Omeganck. — Ayant été obligé, pour compléter une pile de Bunsen, d'employer des éléments qui avaient été chargés primitivement avec du sulfate de mercure, M. Omeganck remarqua que ces derniers couples avaient une constance d'action et une force plus grande que les autres. Il en chercha la cause et reconnut que l'addition d'un peu de sulfate de mercure au liquide excitateur présentait des avantages très-marqués. Une pile ainsi composée put travailler constamment pendant dix jours, et il suffisait pour l'entretenir de verser de temps en temps quelque peu d'acide nitrique dans le vase poreux, et de l'acide sulfurique dans le vase extérieur. Les zincs s'étaient trouvés, toujours par ce moyen, parfaitement amalgamés, et le courant produit était plus stable et plus énergique que quand les zincs étaient plongés dans un liquide acidulé contenant du nitrate ou du chlorure de mercure.

Pile de M. Bacco. — Cette pile n'est autre chose qu'une pile de Bunsen, dans laquelle l'acide nitrique est remplacé par une solution de sulfate de sesquioxyde de fer. Nous ignorons quels effets avantageux peut produire une pareille pile.

Pile de M. Maynooth ou de Callan. — Cette pile, décrite dans le *Cosmos*, d'après une communication de l'ingénieur du Panopticon, M. Warner, est une des mille modifications de la pile de Bunsen que nous avons si souvent décrites dans notre premier volume.

Elle se compose d'une série d'éléments ou de couples de fonte et de zinc amalgamés, que l'on charge ou excite avec un des liquides suivants : 1° acide chlorhydrique du commerce ou acide chlorhydrique concentré, étendu de moitié d'eau ; 2° un mélange de parties égales d'acide sulfurique et d'acide chlorhydrique, étendu d'égal volume d'eau ; 3° acide sulfurique mélangé dans trois fois son volume d'une dissolution de sel de cuisine. Ce dernier liquide est préférable aux autres, et le courant voltaïque qu'il produit sur deux plaques fer et zinc, placées l'une à côté de l'autre, est beaucoup plus intense suivant l'auteur que celui que l'on obtient d'une pile quelconque à acide nitrique de mêmes dimensions, comme on paraît l'avoir expérimenté au moyen d'un bon galvanomètre à fil court et gros.

Pile de M. Biloret. — Afin de mettre l'usage de la pile à la portée de tout le monde, et de permettre son emploi dans les lieux où les ingrédients chimiques manquent, M. Biloret a cherché à disposer la pile à sable d'une manière tout à fait nouvelle et portative. Chacun de ses éléments se compose d'un vase mince dans lequel sont plongés une plaque de zinc et une plaque de charbon, le tout enterré dans une pâte liquide faite avec de la terre, de la cendre ou du sable et de l'eau salée. Un quart de sel marin contre trois quarts de sable suffit parfaitement pour former un couple assez énergique, qui acquiert immédiatement toute sa puissance. Un pareil couple peut à lui seul mettre en marche une sonnerie et la faire tinter pendant quelques instants ; malheureusement son courant s'affaiblit bien vite, et quoiqu'il reprenne un peu de son énergie après quelques instants de repos, il n'arrive jamais à la reprendre entièrement. Comme le sel n'agit dans cette pile que pour diminuer sa résistance, il suffit pour l'entretenir d'ajouter de l'eau quand le sable est un peu trop desséché ; mais ce qui lui donne une énergie considérable, c'est d'employer des charbons ayant été trempés dans

de l'acide nitrique pendant quelque temps. Sa force électro-motrice passe alors de 2592 à 4019 [1], et sa résistance est grandement diminuée par l'amoindrissement de la polarisation (voir page 24). Une pareille disposition, avec un circuit le plus souvent ouvert, peut conserver à cette pile son énergie pendant assez longtemps.

Pour les applications électriques, où le circuit n'est fermé que très-passagèrement, ce système de pile pourrait être employé; car on trouve toujours et partout les matières nécessaires pour le mettre en action.

Pile pyro-électrique de M. Buff. — En faisant des expériences sur la conductibilité du verre chauffé, M. Buff est arrivé à construire une pile où le verre remplace le liquide électrolytique, mais non de la même manière que dans la pile de M. Becquerel. Il place les uns sur les autres et dans le même ordre des disques de zinc et des disques de laiton séparées par de minces plaques de verre; puis, au moyen d'un fil de platine, il unit le premier et le dernier disque qui couvrent les plaques de verre, formant ainsi une véritable pile à colonne, haute de 4 centimètres. Comprimant ensuite les plaques, afin de les soumettre au courant d'air chaud d'une lampe d'Argand, il obtint pour résultat une divergence de 10 millimètres dans l'électroscope à feuilles d'or; les disques une fois échauffés, un contact de quelques secondes peut produire une divergence d'au moins 35 millimètres.

Cette pile, employée en diverses occasions, n'avait rien perdu de sa force électro-motrice au bout de cinq mois.

Quoique M. de La Rive ne le dise point, le sens du courant dans cette pile doit être le même que dans celle de M. Becquerel, où il va du fer au cuivre à travers le verre,

1. Les intensités du courant produit par cette pile étaient, avec un circuit de 4172 mètres de fil télégraphique de 3 millimètres et une boussole des sinus de 24 tours, 61°,05′ le 23 décembre, et 59°,10 le 22 janvier.

c'est-à-dire que dans celle de M. Buff il doit se diriger du zinc au laiton dans la pile.

Pile thermo-électrique de Gaiffe. — En composant une *pile thermo-électrique* avec de larges éléments, bismuth et antimoine, et en soumettant cette pile à l'action momentanée de l'eau glacée et d'un fer fortement chauffé, M. Gaiffe est parvenu à lui faire produire des étincelles. Nous représentons ci-dessous la disposition qu'il a donnée à cette pile. AB est une cuvette métallique qu'on remplit de glace au moment de l'expérience : CD est une pile thermo-électrique de 40 couples, qu'on peut porter à l'aide des deux anneaux. Les deux pôles de cette pile communiquent, par l'intermédiaire

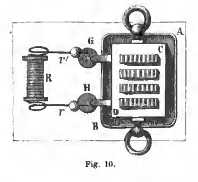


Fig. 10.

de deux lames G et H, avec deux capsules remplies de mercure, au-dessus desquelles sont placés deux ressorts r, r'. Ces ressorts constituent les extrémités d'une hélice électromagnétique R, destinée à amplifier l'étincelle. Pour la produire, on commence par faire chauffer une plaque de fonte de la taille de la pile CD, et, avant de l'appliquer sur cette pile, on a soin de recouvrir celle-ci d'un linge mouillé. Alors il suffit de mettre momentanément en contact avec les capsules remplies de mercure les ressorts r, r', pour que les étincelles se montrent.

Pile fantastique de M. Delalot-Sevin. — Il semble, en vérité, que les journaux politiques aient le privilége de patronner toutes les inventions fantastiques et invraisemblables. Hier c'était la fameuse pile à mouvement perpétuel du docteur Carosio; c'étaient des moteurs électriques qui faisaient marcher des navires, des télégraphes susceptibles de reproduire la parole, etc., etc. Aujourd'hui, c'est la fameuse pile de M. Delalot-Sevin, qui doit fournir la chaleur à meilleur marché que le combustible, et la lumière à un prix infiniment inférieur à celui du gaz. Or, savez-vous à quoi ont abouti ces magnifiques annonces? à faire vendre au prix de 3 fr. 50 c. une petite brochure de 30 pages, dans laquelle on ne trouve absolument rien de scientifique, mais, en revanche, des diatribes contre les savants et une âpreté mercantile, qui montrent que si M. Delalot-Sevin a des idées religieuses et doit devenir trappiste, il ne possède pas les vertus d'humilité et de désintéressement qui doivent être le propre des esprits réellement religieux. Aussi ne croyons-nous pas plus à son futur état de trappiste qu'aux merveilles de sa pile, dont personne jusqu'à présent n'a pu voir un échantillon.

Pour terminer avec les piles, nous n'aurons plus qu'à signaler une disposition particulière que M. de Sainte-Marie a donnée à la pile de Bunsen pour empêcher les émanations gazeuses, et un perfectionnement apporté par M. Pulvermacher à ses chaînes voltaïques.

Ce dernier perfectionnement consiste à introduire entre les fils zinc et cuivre enroulés sur la lamelle de gutta-percha qui leur sert de support un fil de coton non tordu et assez gros pour remplir exactement le vide laissé entre eux. De cette manière le contact de ces fils n'est plus à craindre, et le liquide excitateur en imprégnant le fil de coton lui-même maintient la pile plus longtemps en activité.

Enfin, comme complément à ce travail, nous allons indi-

quer le moyen proposé par M. Guyard pour tirer parti des résidus de la pile de Bunsen.

« On jette, dit-il, l'acide azotique qui n'est plus propre à faire fonctionner la pile, sur un calcaire; l'acide sulfurique que renferme l'acide azotique forme du plâtre qui est insoluble, et l'acide azotique donne naissance à de l'azotate de chaux que l'on peut transformer aisement en salpêtre.

« D'un autre côté, on tire parti du sulfate de zinc de la manière suivante : on fond ensemble au rouge sombre 100 parties de sulfate de zinc et 72 parties de sel marin; il se forme du sulfate de soude et du chlorure de zinc qui se présentent sous la forme d'une masse grisâtre; on lessive cette masse qui laisse déposer, après refroidissement ou évaporation, le sulfate de soude en beaux cristaux, et le chlorure de zinc reste dans l'eau mère.

« On comprend ce qu'a d'avantageux un procédé si simple qui transforme des produits inutiles en produits industriels importants par leurs applications. »

Nous avons déjà vu dans notre dernier volume que M. de Douhet avait trouvé aussi le moyen de tirer parti avantageusement du sulfate de zinc des piles.

BATTERIES DE POLARISATION.

Nous avons parlé, dans le tome Ier de notre exposé des applications de l'électricité, du phénomène électrique connu sous le nom de *polarisation*. Mais ce phénomène, qui joue un rôle très-considérable dans toutes les actions électriques, est généralement si mal compris que c'est tout au plus si on peut s'entendre quand on en parle. Nous croyons donc important d'entrer dans quelques détails à ce sujet, d'autant que ces effets ont amené dernièrement des découvertes importantes susceptibles d'être utilisées dans les applications électriques.

Lorsqu'un courant électrique passe à travers un voltamètre rempli d'eau pure, et que les lames du voltamètre sont suffisamment grandes, l'intensité du courant diminue rapidement et ferait croire à un affaiblissement considérable de la force électro-motrice de la pile. Il n'en est pourtant rien, et, en analysant de plus près le phénomène, on ne tarde pas à s'assurer qu'il provient de la réaction d'un courant secondaire qui tend à se former sous l'influence du courant de la pile, et qui, étant de sens contraire à ce dernier, en diminue forcément l'énergie. On peut s'en convaincre facilement en retirant la pile du circuit après quelques instants de circulation du courant, et en substituant à cette pile un galvanomètre; on voit immédiatement celui-ci dévier, et la déviation s'effectue précisément en sens inverse de ce qu'elle avait été avec le courant de la pile. Plus l'action électrique se prolonge, plus ce courant secondaire acquiert d'énergie, et en reproduisant cet effet sur un certain nombre de voltamètres on finit par obtenir un courant de polarisation très-énergique.

Du reste, il est aujourd'hui démontré que les effets de polarisation dépendent de la nature des lames métalliques employées, du poli de leur surface, de leurs dimensions, de la nature des gaz et substances transportées; enfin de l'intensité et de la tension du courant électrique qui les font naître. Ainsi, avec des lames d'or, la polarisation par l'hydrogène est plus forte qu'avec des lames de platine, d'argent, de mercure, de cuivre et de zinc. Des lames polies polarisent davantage, ainsi qu'on l'a vu, page 34, que des lames rugueuses, et la force électro-motrice due à cette polarisation est en quelque sorte proportionnelle à la surface des lames, à l'intensité du courant excitateur et à la durée d'action de celui-ci, du moins jusqu'à une certaine limite, après laquelle elle n'augmente plus que d'une manière très-peu sensible. On voit en effet que cette force électro-motrice, qui

peut parvenir aisément à atteindre celle de deux éléments à acide nitrique, reste à peu près stationnaire après que la tension du courant excitateur a atteint celle de sept ou huit éléments de Bunsen.

Quelle est la cause du courant de polarisation ? Telle est la question sur laquelle on n'est pas complétement d'accord. La plupart des physiciens l'attribuent à un dépôt ou à une condensation de gaz qui se formerait sur les deux électrodes et qui tendrait à constituer un couple gazeux dans lequel le courant irait de l'hydrogène à l'oxygène à travers le liquide, et par suite de la lame positive à la lame négative extérieurement à l'électrolyse. Pour le démontrer ils plongent pendant quelques instants dans ces deux gaz deux électrodes de platine ne donnant lieu à aucun signe électrique, et, aussitôt qu'ils les immergent dans de l'eau distillée, le phénomène précédent se manifeste ; ils montrent même que ce phénomène peut se produire par l'action d'une seule lame impressionnée par l'un des deux gaz. Dans la décomposition d'un liquide où l'oxygène et l'hydrogène se rendent aux deux électrodes, on serait, d'après ce qui précède, tenté d'attribuer à la double action de ces gaz le courant secondaire qui en résulte, et de faire à chacune de ces deux actions une part égale ; pourtant certains physiciens assurent que l'hydrogène exerce une action prépondérante ; d'autres disent que c'est l'oxygène. M. Planté a cherché à les mettre d'accord, en faisant voir qu'avec des électrodes attaquables le courant secondaire ne provient pas de l'adhérence ou de la présence de couches gazeuses autour des électrodes, mais de l'action chimique produite par ces gaz, oxydation d'une part, réduction ou conservation de l'état métallique par l'hydrogène d'autre part. Suivant lui, ce serait l'action de l'oxygène à l'électrode positive qui déterminerait généralement la réaction, et plus l'oxyde formé serait électro-négatif, par rapport au métal, plus le courant secondaire

aurait d'énergie. Il croit d'ailleurs que l'action de l'hydrogène sur l'électrode négative est beaucoup moindre que celle qu'on lui attribue, et que souvent on la confond avec la réaction chimique opérée par ce gaz au sein de l'électrolyse.

Quoi qu'il en soit, l'expérience m'a démontré que les effets de la polarisation étaient déterminés le plus souvent par l'électrode positive, et je croirais qu'aux causes mentionnées précédemment on devrait joindre celle du dépôt accidentel d'hydrogène sur les électrodes positives, lequel, étant polarisé en sens contraire de l'oxygène, tendrait à déterminer un courant de sens contraire à celui de la pile. Physiquement parlant, ce dépôt ne devrait pas se faire, puisque l'hydrogène dans un électrolyse doit se rendre à l'électrode négative; mais comme, dans un électrolyse dont les électrodes sont attaquables, la décomposition de l'eau s'opère surtout au contact de la lame positive, il peut arriver et il arrive qu'une certaine quantité de bulles d'hydrogène échappent aux recompositions électrolytiques et viennent se déposer sur cette électrode en tendant à lui communiquer l'électrisation qu'elles possèdent. On pourra du reste juger du rôle de cette électrode par les expériences suivantes :

Si on prend deux lames polies et d'égale surface, et qu'on les plonge ensemble dans un baquet rempli d'eau, après les avoir reliées à une boussole des sinus, on ne remarque la présence d'aucun courant; il en est de même quand on établit leur communication avec la boussole après leur immersion; mais si on plonge d'abord l'une des lames et qu'on lui laisse le temps de s'oxyder un peu, un courant très-appréciable se manifeste au moment où on plonge la seconde lame. Toutefois, ce courant ne dure pas, et, au bout de quelques instants, la boussole revient à zéro. Cette expérience montre que, dans le cas où l'oxydation s'effectue en même temps sur les deux électrodes plongeant dans le liquide, les deux cou-

rants provoqués par ces deux lames se détruisent, étant d'égale énergie; mais que, quand l'une des lames est plus oxydée que l'autre, celle qui est la moins oxydée ne joue le rôle que d'un simple conducteur qui prend la polarité du liquide jusqu'à ce qu'étant suffisamment attaquée à son tour, elle fournisse elle-même un courant contraire à celui qu'elle transmettait tout d'abord, et susceptible d'opérer la destruction de celui-ci. Quand les lames sont d'égale surface et dans le même état de décapage, il n'y a pas de raison pour que l'un des courants produits soit prépondérant, et, effectivement, cette prépondérance n'existe pas; mais avec des lames oxydables d'inégale surface, il n'en est plus de même, car si le développement de la force électro-motrice est le même sur les deux lames, et la résistance du circuit constante dans les deux cas, il n'en est pas *de même des effets de la polarisation qui devront être d'autant plus marqués que la surface de la lame sur laquelle ils se manifesteront sera plus développée*. Par conséquent, si on plonge dans l'eau deux lames en métal oxydable ayant une surface très-différente, le courant, provoqué par l'oxydation de la grande lame, devra être plus affaibli, par suite de la polarisation de celle-ci, que celui provoqué par la petite lame ; il en résultera donc que le courant différentiel indiqué par la boussole devra être dirigé de la grande lame à la petite à travers le circuit extérieur, et de la petite lame à la grande à travers le liquide. C'est, en effet, ce que l'expérience démontre ; mais pour que l'expérience soit bien concluante, il faut que les surfaces des deux lames soient très-différentes. Dans mes expériences, la grande lame avait 24 centimètres de longueur sur 15 de largeur, et la petite n'avait que 1 centimètre sur 10. Celle-ci avait été d'ailleurs détachée de la grande pour que les deux métaux fussent dans des conditions identiques : j'ai répété l'expérience avec différents métaux, et toujours les résultats ont été dans le même sens.

Ce point une fois établi, je vais citer une expérience qui va démontrer que les effets de polarisation sont déterminés par la lame électro-positive.

J'ai immergé dans un baquet plein d'eau pure une plaque de tôle de 60 centimètres de longueur sur 20 de largeur, roulée en cylindre, et, au centre de ce cylindre, j'ai plongé une petite lame de même métal de 73 millimètres sur 28; j'ai interposé ce système dans le circuit d'un élément de Daniell complété par une boussole de sinus de M. Bréguet, de 24 tours, et j'ai obtenu les résultats suivants, en ayant soin de laisser le courant interrompu pendant cinq minutes entre chaque expérience.

1° La petite plaque étant positive, son intensité au moment de la fermeture du circuit a été.................. 34°,5′
Après 10 minutes de fermeture du circuit............ 32°,2′
2° La grande plaque étant positive, son intensité au moment de la fermeture du circuit a été............ 29°,15′
Après 10 minutes de fermeture..................... 23°,24′

Une deuxième série d'expériences a donné :

1° Au moment de la fermeture du circuit, la petite plaque étant positive.................................... 35°
Au bout de 10 minutes de fermeture du circuit..... 32°,15′
2° Au moment de la fermeture du circuit, la grande plaque étant positive.................................. 28°
Au bout de 10 minutes de fermeture du circuit..... 22°,18′

Comme les effets les plus énergiques de la polarisation correspondent, d'après ce que l'on a vu plus haut, à la plus grande plaque, et que ces effets, d'après les chiffres précédents, sont beaucoup plus marqués quand cette grande plaque est positive, on arrive à conclure que c'est l'action de l'électrode positive qui est prépondérante dans les effets de polarisation provoqués par des lames oxydables.

Ces réactions se retrouvent continuellement dans la plu-

part des phénomènes électriques et dans les applications qu'on peut faire de l'électricité. Dans les circuits télégraphiques de petite longueur, elles exercent une influence tellement considérable que, dans certains cas, la transmission par le sol devient sinon difficile, du moins beaucoup moins avantageuse que la transmission par des circuits complétement métalliques. Il est résulté, en effet, des expériences que j'ai faites l'an dernier à l'administration des lignes télégraphiques pour constater cette influence :

1° Que quand les plaques de communication du circuit avec le sol sont d'inégale surface, par exemple, quand on emploie à l'une des stations une conduite d'eau ou de gaz et à l'autre une plaque métallique immergée dans un puits, la résistance du circuit est beaucoup plus grande quand la grande plaque est positive que quand l'inverse a lieu. La différence de résistance d'un circuit de 5,205 mètres de longueur, complété par le sol, a pu varier de 202 tours de rhéostat à 31 tours, c'est-à-dire de 6,938 à 7,935 mètres, et pour un circuit de 1,735 mètres de 96 tours à 120 tours, c'est-à-dire de 3,297 mètres à 4,122 mètres.

2° Que quand la grande plaque est positive, la résistance du circuit augmente sensiblement avec la prolongation de la fermeture du courant, tandis qu'elle reste sensiblement constante dans le cas contraire.

3° Que la résistance du circuit est d'autant moindre que les plaques sont enterrées dans un terrain plus humide.

4° Que les différences de résistance du circuit avec la disposition différente des pôles de la pile, par rapport aux plaques de communication avec le sol, augmentent avec la longueur du circuit métallique ; mais seulement quand la grande plaque est positive.

5° Qu'avec des plaques de communication de mêmes dimensions, l'augmentation de résistance du circuit, avec la prolongation de la fermeture du circuit, s'effectue toujours

à peu près de la même manière, quel que soit le sens du courant par rapport à ces plaques (les effets étant symétriques de part et d'autre).

6° Que la résistance du sol est d'autant plus grande que les plaques de communication sont plus petites [1].

Dans les piles, les effets de la polarisation sont, comme on l'a vu, tout aussi manifestes. On comprend, en effet, que le courant produit par elles devant traverser les liquides qui entrent dans leur composition, les lames métalliques plongées dans ces liquides jouent le rôle d'électrodes et constituent avec eux un véritable électrolyse dans lequel les effets que nous avons signalés plus haut doivent se retrouver plus ou moins marqués. C'est pour détruire ces effets qu'on a combiné les piles à deux liquides; mais on n'y est parvenu que très-imparfaitement, car toutes les piles à deux liquides, même les piles de Daniell, se polarisent plus ou moins, et cela vient précisément de ce qu'en faisant absorber chimiquement l'hydrogène avant qu'il ne se dépose sur le conducteur négatif, on n'a pas empêché l'action prédominante de l'électrode positive de se manifester, ni à une partie des bulles d'hydrogène, provenant de la décomposition de l'eau, de se déposer sur cette électrode représentée par le zinc.

Dans les piles à sulfate de mercure, dont la pâte de sulfate laisse une couche d'eau interposée entre elle et le charbon, ces effets de polarisation sont excessivement marqués et on peut s'assurer qu'ils sont produits cette fois à la surface même des charbons. Ayant en effet essayé de mesurer la résistance de ces couples par la méthode du galvanomètre différentiel et ayant fait alternativement l'expérience sur quatre couples opposés deux à deux et numérotés 1, 2, 3, 4, j'ai observé que la résistance des deux premiers couples

1. Voir mon *Mémoire sur les transmissions électriques à travers le sol*, dans le tome III des *Annales télégraphiques*, page 465.

1 et 2 était représentée : au bout de 7 secondes de fermeture du circuit, par 63 tours de rhéostat pour un sens du courant et par 70 tours pour le sens inverse, ce qui donnait pour résistance de chaque élément 283 mètres ; au bout de 15 secondes par 357 mètres ; au bout de 30 secondes par 463 mètres ; au bout d'une minute par 626 mètres ; au bout de 2 minutes par 802 mètres ; au bout de 3 minutes par 975 mètres ; au bout de 4 minutes par 1075 mètres, et enfin au bout de 5 minutes par 1095 mètres. Plus tard, ces deux éléments ayant été remués, les résistances avec les deux sens du courant, qui étaient représentées dans l'origine (pour une fermeture de courant de 5 minutes) par 105 tours de rhéostat dans un cas, et 123 dans l'autre, se sont trouvées exprimées par 122 tours et 177 tours. L'intensité du courant différentiel provenant de ces deux éléments n'était pourtant que de 1°,41′ et ce courant était fourni par l'élément n° 2. Pour rechercher la véritable cause de cette polarisation si énergique, j'ai d'abord amalgamé à nouveau les zincs des deux éléments : j'ai retrouvé les mêmes effets ; j'ai ensuite mesuré la résistance des vases poreux avec la pâte de sulfate contenue par eux : j'ai trouvé qu'elle était la même ; mais ayant changé de place ces vases poreux sans changer les conditions des charbons plongés dans la pâte de sulfate, les effets de polarisation se sont trouvés renversés, c'est-à-dire que le sens du courant de l'électro-moteur, qui donnait 122 tours de résistance, en donnait alors 177, et que l'autre direction du courant en donnait 122. Le phénomène de la polarisation ne pouvait donc être attribué dans ce cas aux gaz dégagés sur les lames de zinc et ne pouvait être produit qu'au sein des vases poreux. Je pus facilement m'en convaincre en répétant les expériences avec les éléments n° 3 et n° 4 dont le sulfate était en partie desséché autour des charbons et qui, malgré un courant différentiel de 2°,25′ provenant du n° 4, ne fournissait comme résistance des deux couples, au bout de 10 mi-

nutes, que 65,5 tours de rhéostat pour un sens de courant de l'électro-moteur, et 64^t,13 pour l'autre sens de ce courant ; ce qui ne donnait pour résistance de chaque élément que 254 mètres. En prenant les charbons de ces deux derniers couples et les substituant à ceux des deux premiers 1 et 2, les effets primitivement constatés se sont maintenus et se sont répétés avec les éléments n°s 3 et 4, dès lors que ceux-ci se sont trouvés mouillés et munis de nouveau des charbons qui n'avaient donné lieu dans l'origine qu'à une polarisation très-faible. En même temps le courant fourni par ces éléments avait diminué un peu d'énergie.

Ces effets se comprennent aisément si l'on réfléchit que quand une légère couche d'eau se trouve interposée entre le charbon et le sulfate, l'hydrogène qui résulte de la décomposition de cette eau par le courant n'est pas absorbé par le sulfate et vient se condenser sur le charbon comme dans les piles non dépolarisées. Dès lors les effets de la polarisation se font plus ou moins sentir, suivant que le courant différentiel s'ajoute au courant de polarisation ou s'en retranche, car l'intensité du courant dans un pareil circuit est représentée par $\frac{E - e + \varepsilon}{4R + r + t}$ dans un cas, et par $\frac{E - e - \varepsilon}{4R + r + t}$ dans l'autre.

Quand au contraire la couche pâteuse de sulfate entoure directement le charbon sans interposition de couche d'eau, l'hydrogène du liquide excitateur se trouve absorbé avant d'arriver au charbon, et cette lame se trouve peu polarisée.

La conclusion pratique de cette expérience, c'est que les éléments à sulfate de mercure doivent avoir leur pâte de sulfate en parfaite adhérence avec le charbon ; ce que l'on obtient plus aisément avec des vases poreux très-perméables et de petites dimensions, qu'avec les grands diaphragmes peu poreux.

On peut, comme je le disais, en multipliant le nombre des

électrolyses où se produisent des effets de polarisation, arriver à créer une batterie de polarisation susceptible de produire des courants secondaires assez énergiques. Ritter est le premier qui se soit occupé de ce genre de batteries, mais M. Jacobi a cherché le premier à en tirer parti pour la télégraphie ainsi que nous le verrons plus tard. Dans ce but il a construit une batterie composée d'une série de lames de platine plongées deux par deux dans des vases remplis d'eau acidulée et réunies les unes aux autres à la manière des éléments d'une pile. Mais quoique assez énergique relativement, cette batterie s'est trouvée considérablement distancée par celle de M. Planté qui, en réagissant comme un puissant condensateur voltaïque, a pu produire des effets extraordinaires.

L'étude spéciale que M. Planté avait faite des courants secondaires lui ayant fait reconnaître que la force électromotrice inverse fournie par des électrodes de plomb était environ deux fois et demie plus grande que celle fournie par des électrodes de platine platiné et six fois et demie supérieure à celle qui est donnée par des électrodes de platine ordinaire, il pensa que la substitution du plomb au platine dans les batteries de polarisation serait avantageuse, et il chercha à combiner une batterie fondée sur ce principe.

Cette batterie se compose de neuf éléments présentant une surface totale de 10 mètres carrés. Chaque élément est formé de deux longues et larges lames de plomb roulées en hélice, séparées par une toile grossière et plongées dans de l'eau acidulée au dixième par l'acide sulfurique. Le courant principal qui doit être employé pour mettre en activité cette batterie, dépend de la manière dont les neuf couples secondaires sont associés ; s'ils sont disposés de manière à former trois éléments de surface triple, cinq petits couples de Bunsen, dont le zinc annulaire a moins de 7 centimètres de hauteur, suffisent pour donner, après quelques minutes d'action,

une étincelle d'une intensité extraordinaire, quand on ferme le circuit de la batterie. Cet appareil joue donc exactement le rôle d'un condensateur, car il permet de recueillir en un instant le travail effectué par la pile pendant un certain laps de temps. On se fera une idée de l'intensité de la décharge en songeant qu'il faudrait, pour en produire une semblable, associer plus de 300 couples de Bunsen (du modèle le plus généralement employé, de 13 centimètres de hauteur), de manière à former quatre à cinq éléments de 3 mètres carrés et un tiers de surface, ou trois éléments d'une surface plus grande encore. Si la batterie était montée en tension, on devrait composer la pile principale d'un nombre de couples suffisant pour vaincre la force électro-motrice inverse développée; on emploierait, pour neuf éléments secondaires environ, quinze couples de Bunsen dont la surface pourrait être très-petite.

Cette pile secondaire est d'une construction très-facile à cause de la malléabilité du métal qui la compose, et, en prenant du plomb en feuilles assez minces, on peut en faire tenir une très-grande surface dans un petit espace. Les neuf éléments que M. Planté a présentés à l'Académie étaient contenus dans une boîte carrée de 36 centimètres de côté.

Ces sortes d'éléments peuvent être remplis de liquides une fois pour toutes et renfermés dans des bocaux bouchés; ils peuvent se conserver ainsi, dans un cabinet de physique, toujours chargés et prêts à servir toutes les fois qu'on veut se procurer, à l'aide d'une faible pile, des décharges puissantes d'électricité dynamique.

La plus grande énergie des batteries de polarisation à lames de plomb vient de la grande affinité du peroxyde de plomb pour l'hydrogène, réaction assez puissante pour que la force électro-motrice d'un couple ainsi constitué soit supérieure à celle d'un élément de Grove ou de Bunsen. M. Planté a trouvé en effet que si la force électro-motrice de

l'élément Bunsen était représentée par 1, celle de l'élément à lames de plomb avait une valeur de 1,5. On peut du reste reconnaître l'intervention de la réaction chimique opérée dans cette circonstance, par la couleur du dépôt formé sur l'électrode positive qui est d'un brun très-prononcé, alors que le dépôt formé sur la lame négative est de couleur grise.

Il n'est pas d'ailleurs besoin d'une forte batterie pour produire avec ce système des effets très-marqués. Ainsi deux simples fils de plomb polarisés pendant quelque secondes par le courant d'une pile de dix petits éléments de Bunsen ont pu produire un courant secondaire capable de détruire la force magnétique d'un électro-aimant portant au contact de son armature 200 grammes.

Voici, d'après M. Ed. Becquerel, les forces électro-motrices développées par ces deux fils de plomb plongés dans de l'eau acidulée au dixième :

NOMBRE des couples de la pile.	FORCES ÉLECTRO-MOTRICES		
	de la pile seule.	de la pile plus l'appareil décomposant à fils de plomb.	de l'appareil décomposant ou effet de la polarisation sur les deux fils de plomb positifs et négatifs.
1............	95.75	77	18.75
2............	191.0	82	109
4............	379.0	262	117
8.......... ..	760.0	626	134
10............	946.0	812	134

« Dans les deux premières expériences, dit M. Ed. Becquerel, la polarisation ne s'est produite que très-lentement ; on a mesuré l'action un quart d'heure après l'introduction de l'appareil dans le circuit, et nul doute qu'en attendant plus longtemps l'effet de polarisation n'eût donné des nombres supérieurs à ceux qui sont indiqués dans le tableau. Avec

quatre couples et au delà, l'action n'a pas changé pendant un quart d'heure, ce qui a indiqué que la polarisation était à peu près complète et n'augmentait plus avec le temps. Dans les deux dernières expériences l'effet est resté le même et a été représenté par 134 (l'action d'un couple de Bunsen étant 95). En supposant que l'insensité du courant de la pile extérieure passant dans les circuits des fils du rhéomètre soit variable de quatre à dix couples, la force électro-motrice inverse serait, au moment du passage du courant, 134, c'est-à-dire, par rapport au couple à acide azotique, $\frac{134}{95}$ ou 1,41, ou près d'une fois $\frac{1}{2}$ celle d'un de ces derniers couples. »

NOUVEAUX GÉNÉRATEURS D'ÉLECTRICITÉ.

Courants telluriques. — Nous avons parlé dans notre revue des applications de l'électricité en 1857 et 1858, des courants telluriques engendrés par des lames électro-négatives et électro-positives enterrées dans le sol ou immergées dans l'eau à une distance plus ou moins grande l'une de l'autre et reliées ensemble par un fil isolé. Nous avons même vu que M. Palagi avait tiré parti de ces courants pour faire fonctionner des appareils télégraphiques entre Paris et Rouen. De nouvelles recherches ont été entreprises dans le même but et ont conduit à des résultats assez intéressants. Mais avant de les signaler je crois utile, pour les faire mieux comprendre, de rapporter les résultats des expériences que j'ai faites moi-même à ce sujet à l'administration des lignes télégraphiques.

Un circuit télégraphique se composant d'une partie métallique bonne conductrice et d'une partie médiocrement conductrice plus ou moins humide (le sol) mise en relation avec la première par l'intermédiaire de plaques métalliques

plus ou moins grandes, il était à supposer que les effets produits dans les circuits mi-partie métalliques, mi-partie liquides, devaient se retrouver à un degré plus ou moins marqué sur les lignes télégraphiques et donner lieu à certaines perturbations qu'il était important de connaître dans l'intérêt du service télégraphique. C'est ce travail que j'ai entrepris et qui m'a révélé plusieurs effets particuliers dont nous allons parler.

D'après la manière même dont un circuit télégraphique est mis en communication avec le sol, j'avais deux choses à examiner : d'abord si cette disposition n'entraînait pas la création d'un courant tellurique, et dans cette hypothèse quel rôle jouait ce courant dans les transmissions télégraphiques ; en second lieu quelle influence pouvaient exercer les plaques de communication suivant leurs dimensions relatives et leur relation avec l'un ou l'autre des pôles de la pile de ligne. Nous avons vu précédemment comment s'exerçait cette réaction des plaques dans le dernier cas. Dans le premier elle est assez complexe, et pour l'isoler j'ai dû faire une série d'expériences avec des plaques enterrées en différents points ; or ces expériences m'ont démontré :

1° Que des plaques oxydables de même métal et de même grandeur, réunies par un fil isolé (de 1735 mètres de longueur) peuvent donner naissance à un courant tellurique assez énergique lorsqu'elles sont enterrées dans des terrains différemment humides ; alors le courant qui prend naissance est dirigé (à travers le circuit métallique) de la plaque enterrée dans le terrain le plus sec à la plaque enterrée dans le terrain le plus humide, celle-ci se comportant d'ailleurs exactement comme la lame électro-positive d'un couple voltaïque ;

2° Que le courant ainsi produit est d'autant plus énergique que la différence d'humidité des terrains est plus grande, que la surface de la plaque électro-positive est plus attaquable, et que la plaque électro-négative est plus grande ;

3° Que ces courants, pour un circuit métallique de 1735 mètres, ont pu atteindre une intensité représentée par 9° 17′ avec une boussole des sinus de M. Bréguet, dont le multiplicateur n'avait que 30 tours, ce qui leur supposait une force électro-motrice représentée par 1005, alors que celle d'un élément de Daniell était représentée avec la même boussole par 5670;

4° Que ces courants perdent successivement de leur intensité à mesure que la terre se dessèche autour des plaques;

5° Qu'en définitive un circuit télégraphique mis en rapport avec le sol par des plaques oxydables se trouve sillonné toujours par un courant provenant, soit de la différence d'humidité du terrain autour de ces plaques, soit de la différence des dimensions de celles-ci, soit de l'état plus ou moins oxydable de leur surface, et que l'intensité et la direction de ce courant dépendent de la prédominance de telle ou telle de ces causes.

M. Becquerel, d'un autre côté, a démontré que, même avec des lames inoxydables, des courants peuvent naître dans un circuit isolé qui les relie entre elles: 1° si les terrains où sont enterrées les plaques sont à des températures différentes, et alors le courant qui se forme est un courant thermo-électrique; 2° si l'action de l'eau sur les matières qui entrent dans la composition de ces terrains est différente et constitue ceux-ci dans des états électriques différents; 3° si les plaques sont plongées, l'une dans l'eau, l'autre en terre. En plaçant une plaque dans un glacier, l'autre en terre, M. Becquerel a obtenu un courant d'une énergie considérable. Il en a été de même avec une plaque plongée dans la mer, l'autre plaque étant enterrée à quelque distance du rivage.

Pile terrestre de MM. Hoga et Pigott. — Les courants telluriques, en raison de leur faible pouvoir électro-moteur, ne peuvent, ainsi que nous l'avons vu dans notre dernier vo-

lume, être employés utilement en télégraphie que pour faire marcher des appareils à aiguilles. Or, étant dans l'impossibilité de renverser à volonté le sens de pareils courants puisque les pôles de la pile qui les engendre sont aux deux extrémités de la ligne, on est obligé de télégraphier avec un courant toujours dans le même sens, ce qui entraîne l'emploi de signaux télégraphiques très-compliqués. Pour éviter cet inconvénient, MM. Hoga et Pigott ont eu l'idée d'employer, au lieu d'une lame de cuivre et d'une lame de zinc, trois lames de métaux différents d'une nature telle que l'un de ces métaux fût à la fois électro-négatif et électro-positif par rapport aux deux autres. Ces conditions ont été réalisées avec le cuivre, le fer et le zinc.

A chaque station, MM. Hoga et Pigott enterrent donc trois plaques, cuivre, fer et zinc, en ayant soin de mettre la plaque de fer en rapport avec un conjoncteur L, L' relié à la fois à l'appareil télégraphique T, T' et avec le manipulateur A B, A' B'. Les deux appareils télégraphiques sont d'ailleurs reliés par le fil de ligne, et les deux touches à ressorts A et B du manipulateur correspondent dans chaque

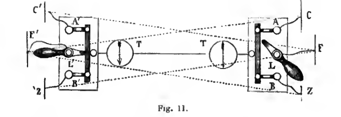


Fig. 11.

station aux plaques cuivre et zinc C, Z. Avec cette disposition, quand on abaisse la touche cuivre A à la station S, le courant passe de A à la lame A B, de celle-ci à l'appareil T, traverse la ligne et le télégraphe T', arrive à A' B', puis au conjoncteur L', puis à la plaque de fer F', et revient à la

plaque C à travers le sol, la plaque de fer étant négative par rapport à la plaque de cuivre. Quand on abaisse la touche zinc B, le courant part au contraire de la plaque F′, va au conjoncteur L′, à la lame A′B′, traverse la ligne et les deux télégraphes, passe à travers la lame AB, la touche B, la lame Z, et revient par le sol à la plaque F′ cette fois électro-positive par rapport à la plaque Z. Le courant se trouve donc ainsi envoyé dans les deux sens opposés, suivant qu'on touche l'une ou l'autre des lames à ressort A et B, et il en serait de même avec les touches A′ et B′, puisque les appareils et les plaques Z, F, C sont symétriquement placés aux deux stations. Mais il faut avoir soin pour cela que la communication de la plaque de fer avec le conjoncteur soit retirée du poste expéditionnaire, car cette communication n'est faite que pour introduire les appareils dans la ligne, comme cela a lieu quand on met les appareils à la croix dans les télégraphes ordinaires. Ainsi, quand c'est la station S′ qui transmet, le conjoncteur L′ ne doit plus toucher la plaque A′B′.

M. Pigott, après de nombreuses expériences, a reconnu que les dimensions des plaques devaient varier avec la longueur des circuits, et que pour obtenir une même intensité de courant avec des circuits de longueurs différentes, il fallait que les surfaces de ces plaques fussent augmentées dans le rapport des racines carrées des longueurs de ces circuits.

Suivant MM. Hoga et Pigott, ce système télégraphique présenterait l'avantage d'exiger un moins bon isolement du fil de ligne; car le courant, ayant franchi la première moitié du circuit, a plus de propension à continuer sa route vers la station opposée qu'à revenir sur ses pas. Il pourrait même dans ce cas traverser une solution de continuité, pour peu qu'il y eût autour de cette solution de continuité une couche humide. Envoyé à travers les lignes sous-marines, ce courant aurait l'avantage, en raison de son peu d'intensité,

d'éviter les réactions statiques si nuisibles aux transmissions électriques.

S'il faut en croire certains journaux anglais, ce système télégraphique aurait été essayé avec succès entre Southampton et Guernesey. Mais j'avoue que ce résultat me paraît bien extraordinaire, car en appliquant ce système à un télégraphe anglais à aiguilles et employant pour plaques de transmission des lames de près d'un mètre carré de surface, je n'ai pu faire fonctionner convenablement l'appareil au delà de 20 kilomètres. On peut, du reste, trouver tous les renseignements concernant ce télégraphe dans une brochure publiée à Londres chez M. Edward Stranford (Charing-Cross), par M. S. Beardmore, et intitulée : *The Globe Telegraph.*

Machines d'induction. — Les machines d'induction ont subi, depuis la publication de notre dernier volume, de notables améliorations. Ainsi la machine magnéto-électrique des Invalides peut fournir actuellement un courant capable d'engendrer une lumière électrique égale à 1,600 bougies. La machine de Ruhmkorff donne des étincelles de 45 centimètres de longueur susceptibles de percer des lames de verre de 6 centimètres d'épaisseur, et les appareils électro-médicaux ont pu, grâce au perfectionnement des bobines et de la pile, être réduits à des dimensions assez petites pour être renfermés dans une boîte de la grandeur d'une trousse de chirurgien. Ce sont, comme on le voit, des perfectionnements fort importants et qui méritent une description particulière.

Machines magnéto-électriques des Invalides. — Nous avons vu dans notre dernier volume que l'un des perfectionnements les plus importants qui aient été apportés aux machines magnéto-électriques, employées comme générateurs d'effets calorifiques et de lumière, avait été la suppression du commutateur. Mais cette suppression, quoique empêchant

les pertes d'électricité, n'avait pas réussi à donner aux courants produits une quantité suffisante pour qu'ils pussent lutter avantageusement avec les courants d'une pile énergique. On a tenté pendant quelque temps d'accoupler les bobines et les rouleaux de différentes manières pour transformer leur tension en quantité, et on a souvent obtenu de ces essais de très-bons effets; mais ceux-ci n'étant pas encore tels qu'on pouvait les désirer, on s'est décidé à construire les bobines d'une autre manière, en partant toujours du principe qui avait déjà permis de faire produire aux machines d'induction des courants si intenses. On chercha donc à augmenter le nombre des fils enroulés en faisceau sur les bobines; au lieu de 4 on en enroula 8, puis 12, et chaque fil n'eut plus alors que 30 mètres de longueur. Les résultats furent excellents, peut-être même trop bons, car on avait fini par trop diminuer la tension; de sorte qu'on en est revenu aux bobines à 8 fils, et ce sont celles-là qui ont donné les résultats dont nous venons de parler; tout le monde a pu admirer la constance de la lumière produite par ces générateurs sur les places du Carrousel et du Palais-Royal, qu'elle a éclairées une partie de l'hiver et du printemps 1861.

Des expériences entreprises par la Société d'encouragement dans le but de constater la force nécessaire pour faire fonctionner une de ces machines à 4 rouleaux, et d'estimer la résistance en rapport avec le travail produit, ont conduit à des résultats assez curieux.

On a cherché d'abord à déterminer exactement la vitesse de la machine sans produire de lumière.

La pression moyenne de la vapeur dans la chaudière étant 4°,36, la vitesse de rotation a été 1868 tours en cinq minutes, soit 373,60 tours par minute.

On a ensuite adapté à l'axe mobile un frein dynamométrique ayant 70 centimètres de bras de levier. On a trouvé que pour une vitesse de 1868 tours en cinq minutes, il a

fallu, pour maintenir le frein, une charge de 3 kilog. 400 gr., la pression de la vapeur étant en moyenne 4°,40.

Puis on a répété ces deux expériences, la machine fournissant la lumière dans toute son intensité, et on a trouvé :

1° Que pour obtenir la vitesse de 1868 tours en 5 minutes, jugée la plus convenable pour la production de la lumière, il fallait une pression moyenne de vapeur de 4°,75.

2° Que pour obtenir avec l'axe mobile chargé du frein dynamométrique la vitesse précédente avec la tension de vapeur 4°,77 (bien voisine de la précédente), il a fallu charger le frein de 4 kilog.

D'où il résulte : 1° que la force nécessaire pour mettre l'appareil en mouvement est représentée par 3 kilogrammètres 400 gr., c'est-à-dire environ 1 cheval 2 dixièmes de vapeur; 2° que la force nécessaire pour obtenir la lumière est représentée par 600 grammes, c'est-à-dire environ 1/4 de cheval-vapeur.

Ainsi la résistance correspondante au travail utile produit a été 1/4 de cheval-vapeur.

Machine de Ruhmkorff. — Dans une bobine d'induction où le fil se trouve enroulé par couches successives allant de droite à gauche et revenant de gauche à droite, il arrive forcément que les spires superposées aux extrémités de la bobine se trouvent relativement les unes aux autres dans des états électriques tellement différents que, pour une certaine longueur de cette bobine et une forte tension du courant induit, des décharges latérales peuvent survenir et détruire l'isolement des couches superposées; c'est ce qui avait longtemps empêché M. Ruhmkorff de construire des bobines de très-grandes dimensions. Pour éviter cet effet, M. Poggendorff avait conseillé dans l'origine de diviser la bobine en plusieurs tronçons ou compartiments séparés par des cloisons, et d'enrouler le fil séparément sur chacun d'eux, quitte à réunir ensuite toutes les bobines ainsi formées. Cette idée

fut reprise quelque temps après et mise à exécution par M. Foucault, et c'est ainsi qu'il put accoupler sans crainte jusqu'à quatre appareils et obtenir les beaux effets qui précédèrent ceux dont nous avons parlé. Dans le même temps, M. Ritchie, en Amérique, pénétré du même principe, pensa que, pour augmenter indéfiniment la tension du courant induit avec la grandeur des bobines, il fallait non-seulement que celles-ci fussent fractionnées, mais encore que les spires, au lieu d'être disposées les unes à côté des autres horizontalement et de former des couches superposées, fussent enroulées en limaçon, du centre à la circonférence, de manière à constituer une série de tranches circulaires complétement isolées les unes des autres et n'étant reliées entre elles que par des fils réunissant les deux bouts des spirales contigües.

Pour obtenir ce résultat, M. Ritchie enroulait son fil dans la gorge d'une espèce de poulie constituée par deux disques de cuivre vissés sur un mandrin (du calibre de la bobine inductrice), et éloignés l'un de l'autre d'un millimètre à peine. Il prenait toutes les précautions pour le bon isolement de ce fil, et, quand l'enroulement se trouvait terminé, il dévissait les disques et recouvrait des deux côtés la tranche circulaire, formée par la spirale, d'une couche épaisse de vernis isolant. Après avoir préparé ainsi autant de tranches de spires que pouvait en contenir la longueur de la bobine, il les plaçait toutes les unes à côté des autres, en réunissait les différents bouts de manière à former un circuit continu, et, après avoir versé sur cet ensemble une certaine quantité de matière isolante, il comprimait le tout de manière à constituer un véritable cylindre à l'intérieur duquel il n'avait plus qu'à introduire la bobine inductrice, munie de son faisceau de fils de fer pour compléter l'appareil.

Dans les appareils que M. Ritchie a envoyés en France, en 1859, par l'intermédiaire de M. Mac-Culoch, professeur de physique à New-York, et qui ont à cette époque attiré

beaucoup l'attention des savants, la bobine était placée verticalement et formait une colonne assez gracieuse, dans le socle de laquelle se trouvait le condensateur. L'interrupteur de l'appareil consistait dans un marteau mis en mouvement par une roue à cames et réagissant sur une pièce de platine portée par un fort ressort; il était d'ailleurs complétement indépendant de l'appareil. Les étincelles que cette machine fournissait avaient 35 centimètres de longueur. Pour ceux qui n'avaient pas eu connaissance des expériences de M. Jean, dont nous avons parlé dans notre dernier volume, et c'était le plus grand nombre, ce résultat parut tellement extraordinaire qu'on crut un instant qu'il n'y avait qu'en Amérique qu'on pouvait fabriquer des appareils aussi merveilleux; heureusement notre habile constructeur, M. Ruhmkorff, que les succès de la machine américaine semblaient mettre au défi, secoua bien vite l'indifférence qu'il avait montrée jusque-là à l'égard des appareils à grande tension, et prouva qu'il pouvait avoir encore le dernier mot pour ces sortes d'appareils aussi bien que pour les autres; effectivement, il ne tarda pas à construire des bobines dont les étincelles purent atteindre jusqu'à 45 centimètres de longueur et percer une lame de verre de 6 centimètres d'épaisseur. Inutile de dire que c'est l'interrupteur à mercure de M. Foucault (lequel interrupteur avait été déjà employé par M. Jean) qui fut adopté pour les nouvelles machines, dont la disposition est, du reste, restée exactement la même. Les dimensions de ces appareils ne sont pas d'ailleurs exagérées : la bobine a 51 centimètres 1/2 de longueur, 20 centimètres de diamètre, et la boîte dans laquelle se trouve renfermé le condensateur a 66 centimètres de longueur sur 38 de largeur et 10 d'épaisseur.

Machine d'induction de M. Gaiffe. — Si la machine dont nous venons de parler peut être considérée comme une machine d'induction monstre, celle dont nous allons mainte-

nant parler peut être regardée comme une machine d'induction microscopique. Les dimensions de la bobine ne dépassent pas 54 millimètres en longueur et 22 en diamètre, et pourtant les effets qu'elle produit sont excessivement énergiques avec la pile également microscopique que nous avons décrite, page 42. Le fil qui constitue l'hélice inductrice n'a guère qu'un demi-millimètre de diamètre, et sa longueur n'est que de 20 mètres. Mais en revanche, le fil induit, qui est du n° 32 (1 dixième 1/2 de millimètre), a 150 mètres de longueur. Le noyau de fer est constitué lui-même par un faisceau de fils de fer chacun de la grosseur d'un crin.

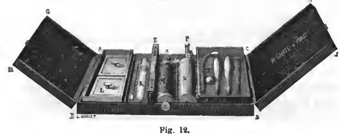


Fig. 12.

Cet appareil, que nous représentons ci-dessus (fig. 12), fournit, comme la plupart des appareils électro-médicaux, les deux courants appelés par M. Duchenne courants de premier et de second ordre, et qui ne sont autres que l'extra-courant et le courant induit; mais il additionne en outre les deux courants, et, chose assez particulière, cette réunion des deux courants donne les effets les plus énergiques. Indépendamment des intermittences rapides fournies par le marteau trembleur, il donne aussi des intermittences espacées, à l'aide d'un levier sur lequel l'opérateur appuie le doigt chaque fois qu'il veut produire une secousse. L'appareil se règle d'ailleurs avec un cylindre de cuivre qu'on enfonce plus ou moins sur le noyau des fils de fer, comme dans les

appareils de M. Duchenne. La figure 12 montre du reste le dispositif de l'appareil qui est si bien entendu qu'il ne pèse en tout que 500 ou 600 grammes.

II

TECHNOLOGIE ÉLECTRIQUE

Recherches nouvelles sur la transmission de l'électricité dans les circuits.

Propagation de l'électricité. — Depuis la publication de notre revue des applications de l'électricité en 1857 et 1858, d'importantes expériences ont été faites sur les lois de la propagation de l'électricité à travers les circuits, et ont conduit à des conséquences assez importantes pour les applications électriques. En 1825, Ohm, mathématicien allemand, frappé de l'idée que le mode de propagation de l'électricité pouvait bien être le même que celui de la chaleur, appliqua à cet agent physique les formules que Fourrier et Poisson avaient déduites des lois de la transmission de la chaleur, et parvint à poser d'une manière tout à fait nette et précise les belles lois des courants électriques qui portent son nom, et que l'expérience n'a fait que confirmer de plus en plus. Mais pour établir tout un échafaudage de calculs sur une pareille hypothèse, dans un temps où les idées des physiciens étaient tournées dans une tout autre direction, il fallait être plutôt philosophe que physicien, et c'est justement parce que Ohm était surtout mathématicien qu'il put établir, sans idée préconçue et sans prévention, son admirable théorie. Toutefois ses travaux n'eurent pas, dans le monde savant, le suc-

cès qu'il en attendait, et furent au contraire pour lui le sujet d'une persécution qui le poursuivit jusque dans sa position de professeur. Ce ne fut que dix ans plus tard, et surtout quand M. Pouillet parvint aux mêmes lois par l'expérimentation, qu'on commença à revenir sur le jugement qu'on avait porté contre Ohm, et à apprécier le mérite de sa découverte. Cependant, tout en adoptant les formules de l'illustre mathématicien, les physiciens, jusqu'à l'année 1860, n'avaient pas voulu admettre l'assimilation que Ohm avait faite du mode de propagation de l'électricité à celui de la chaleur, et, grâce à ce parti pris de leur part, ils sont arrivés à des résultats tellement discordants sur la vitesse de propagation de l'électricité, qu'il fallait admettre, ou que les expériences faites pour mesurer cette vitesse avaient été mal conduites, ou que les idées que l'on se faisait généralement sur la propagation de l'électricité étaient fausses.

Vers la fin de l'année 1859, M. Gaugain, habile physicien, qui depuis quelque temps s'occupait de vérifier les lois d'Ohm, au point de vue de la transmission de l'électricité à travers les mauvais conducteurs, rechercha les causes de ce désaccord, et trouva bientôt le mot de l'énigme. Il s'assura en effet que l'électricité, loin de se propager comme une onde, c'est-à-dire à la manière du son ou de la lumière, devait au contraire se transmettre, ainsi que Ohm l'avait admis, à la manière de la chaleur dans une barre métallique que l'on chauffe par un bout et que l'on refroidit par l'autre. Dans ce cas, la chaleur et le froid se communiquent de proche en proche à partir des deux extrémités de la barre, et, à mesure que ce double mouvement calorifique et réfrigérant se propage vers le milieu de cette barre, les parties primitivement chauffées et refroidies acquièrent et perdent une quantité de chaleur de plus en plus grande, jusqu'à ce que, les deux mouvements calorifiques s'étant rencontrés, les différents points de cette barre perdent d'un côté autant de

chaleur qu'ils en gagnent de l'autre. Alors seulement l'équilibre calorifique est établi, et la distribution de la chaleur, sur toutes les parties de la barre, reste toujours la même. C'est ce que les physiciens ont appelé *l'état calorifique permanent*. Mais avant qu'une barre métallique arrive à cet état, il faut un temps plus ou moins long suivant son degré de conductibilité calorifique, et ce temps, pendant lequel chacun des points des corps chauffés change sans cesse de température, constitue une *période variable* qui, si l'assimilation de la propagation de la chaleur avec la propagation de l'électricité est vraie, doit exister dans les premiers moments de la transmission d'un courant ; car, dans cette hypothèse, un courant électrique n'est que le résultat de l'équilibre qui tend à s'établir d'une extrémité à l'autre du circuit, entre deux états électriques différents constitués par l'action de la pile, et représentant, par conséquent, les deux températures différentes de la barre chauffée. Sans doute cette période, variable en raison de la subtilité du fluide électrique, devra être excessivement courte ; mais, pour des circuits d'une grande longueur et pour des transmissions lentes à travers de mauvais conducteurs, elle pourra être appréciable, et c'est en effet ce que l'expérience démontra à M. Gaugain. Dès lors, il rechercha les lois de la transmission du courant pendant cette période variable, et il constata, entre autres lois, que le temps nécessaire pour qu'un courant atteigne son état permanent dans un circuit, c'est-à-dire toute l'intensité qu'il est susceptible d'acquérir, est proportionnel au carré de la longueur de ce circuit. Ce résultat avait été non-seulement prévu par Ohm, mais encore formulé mathématiquement par lui dans l'équation représentant la tension des différents points du circuit dans la période variable de l'intensité des courants.

Ainsi, Ohm, qui n'était pas physicien, avait découvert, par la force du raisonnement, un phénomène que les physiciens

ne devaient découvrir que trente-quatre ans plus tard.

La vitesse de la transmission électrique dans les circuits étant excessivement grande, il fallait, comme nous l'avons dit, pour qu'on pût étudier expérimentalement les lois relatives à la période variable, qu'on opérât ou sur des circuits télégraphiques d'une très-grande longueur, ou sur des circuits disposés de manière à conduire très-lentement ce fluide. Des fils de coton tendus sur des supports isolants, lesquels fils ne sont conducteurs que par la légère couche humide qui se dépose à leur surface, sont dans ce dernier cas, et c'est ce moyen qu'avait employé M. Gaugain dans les expériences dont nous avons parlé précédemment. L'autre système d'expérimentation a été mis en usage par M. Guillemin, et a fourni des résultats excessivement curieux.

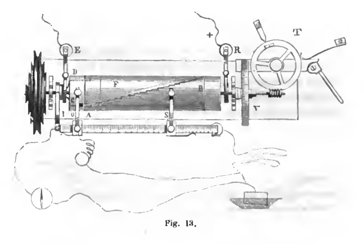


Fig. 13.

Les expériences de ce dernier savant ont été faites en 1860 et 1861 sur des circuits télégraphiques de 520 et 570 kilomètres de longueur, avec un instrument que nous représentons ci-dessus, et au moyen duquel il pouvait augmenter

ou diminuer dans une proportion connue la durée des fermetures du courant. Un galvanomètre interposé dans une dérivation du circuit lui permettait d'apprécier la force plus ou moins grande du courant, et, pour obtenir des effets continus, un mouvement rapide et uniforme était communiqué à l'appareil [1]. Voici les résultats qui ont été obtenus avec une pile de 66 éléments de Bunsen :

1° La durée de la période variable dans un circuit de 520 kilomètres est de vingt-quatre millièmes de seconde ;

2° A l'extrémité du fil en communication avec la terre, le courant, d'abord d'une intensité très-faible, augmente peu à peu et atteint bientôt, en suivant une marche croissante, une intensité qu'il ne dépasse plus quand on continue d'augmenter la durée des contacts ;

3° A l'extrémité du fil en communication avec la pile, l'intensité du courant suit une marche inverse et décroissante à mesure que la durée du contact du fil avec la pile augmente ; puis, au bout d'un certain temps, la déviation reste constante et plus grande que celle que l'on obtient à l'autre extrémité du fil ;

4° Le temps nécessaire à l'établissement de l'état permanent est le même dans les deux cas ;

5° Les phénomènes d'induction produits par les courants ne se manifestent que pendant la période variable ;

6° Le temps nécessaire à l'établissement de l'état permanent croît plus vite que la simple longueur du circuit, mais moins rapidement que le carré de cette longueur ;

7° Le temps diminue quand le nombre des éléments de la pile augmente, mais dans une proportion beaucoup moins rapide que le nombre des éléments ;

8° La grandeur des éléments de la pile n'a aucune influence sur la durée de la propagation électrique ;

1. Voir mon *Étude des lois des courants*, page 137.

9° Cette durée dépend aussi de l'état d'isolement du circuit. Si le fil est bien isolé, elle est moins grande que dans le cas contraire;

10° Le sens d'une charge électrique qui traverse le circuit, avant l'émission d'un courant, augmente ou diminue la durée de la propagation, suivant que cette première charge est dans le sens ou en sens contraire du courant envoyé.

Les conclusions auxquelles M. Gaugain a été conduit sont un peu différentes : elles peuvent être formulées en cinq propositions que voici :

1° Lorsque les dimensions du conducteur sont supposées constantes et que la tension de la source est invariable, la durée de la propagation varie en raison inverse de la conductibilité.

2° Quand la conductibilité et la section sont invariables ainsi que la tension de la source, la durée de la propagation est directement proportionnelle au carré de la longueur du conducteur.

3° Lorsque la tension de la source est constante, que la nature et la longueur du conducteur restent les mêmes ainsi que la surface extérieure, et que, par suite de cette dernière condition, le coefficient de charge[1] est lui-même invariable, la durée de la propagation est en raison inverse de la section.

4° Lorsque la forme de la section varie de manière à changer le coefficient de charge, que d'ailleurs la grandeur de cette section, la longueur du conducteur et sa conductibilité sont invariables ainsi que la tension de la source, la

1. M. Gaugain appelle *coefficient de charge* la quantité d'électricité qui constituerait dans l'état statique la charge du conducteur considéré, si ce conducteur avait pour longueur l'unité de longueur, s'il était isolé et s'il était mis en communication par l'une de ses extrémités avec une source dont la tension fût égale à l'unité de tension. Ce coefficient de charge dépend exclusivement de la grandeur et de la forme de la section et doit être déterminé dans chaque cas particulier par l'expérience, bien qu'à la rigueur il pourrait être calculé à

durée de la propagation est directement proportionnelle au coefficient de charge.

5° La durée de la propagation est indépendante de la tension de la source ; ce qui revient à dire que la tension qui correspond au bout d'un temps donné à un point déterminé du conducteur est proportionnelle à la tension de la source.

En définitive, ces propositions peuvent se résumer de la manière suivante :

La durée de la propagation est inversement proportionnelle à la conductibilité des corps parcourus par le courant ; directement proportionnelle au carré de sa longueur ; inversement proportionnelle à l'aire de sa section ; directement proportionnelle au coefficient de charge et indépendante de la tension de la source.

Or, ces lois peuvent toutes être comprises dans la formule suivante :

$$T = \frac{q c l^2}{k \omega},$$

En désignant :

Par T, la durée de la propagation ;

Par k, la conductibilité ;

Par l, la longueur du conducteur ;

Par ω, l'aire de la section ;

Par c, le coefficient de charge ;

Et par q, un coefficient constant.

En déterminant les coefficients de charge pour plusieurs échantillons de fils des diamètres usités pour les communica-

l'aide de la théorie de Poisson. Cette détermination expérimentale n'offre d'ailleurs aucune difficulté. Il suffit de prendre un échantillon de chaque conducteur de la longueur d'un mètre par exemple, de le placer sur un support isolant, de le charger en mettant son extrémité en communication avec une source constante, puis de la séparer de la source et de jauger ensuite la charge communiquée en la faisant passer dans un électroscope à décharges, au moyen duquel on constate les charges par le nombre des battements des paillettes.

tions télégraphiques, M. Gaugain est arrivé aux résultats suivants :

Diamètre des fils.	Coefficients de charge.
1mm	100
2	113
3	125
4	133
5	141

Et l'on peut voir que ces coefficients de charge croissent beaucoup moins vite que les diamètres. Or, en partant des nombres ci-dessus, on trouve que les durées de propagation sont proportionnelles aux nombres qui suivent :

Diamètre des fils.....	1	2	3	4	5
Durées de propagation.	100	28,2	13,9	8,3	5,6

Ce qui prouve que l'on augmente considérablement la rapidité de la transmission en augmentant le diamètre des fils conducteurs.

Les lois précédentes, établies par M. Gaugain, supposent, comme nous l'avons dit, un circuit parfaitement isolé. Or, il était important de savoir comment ces lois se trouvent modifiées quand les circuits sont exposés à l'humidité de l'air et à des dérivations régulières, comme cela a lieu sur les lignes télégraphiques. M. Gaugain a entrepris un nouveau travail sur ce sujet[1], et il en est résulté que les effets produits par suite d'un mauvais isolement du circuit, non-seulement font varier les lois précédemment formulées, mais encore peuvent conduire à des conclusions diamétralement opposées, suivant qu'on considère la durée de la propagation comme *absolue* ou *relative*.

Par le mot *durée de la propagation absolue*, M. Gaugain entend le temps nécessaire pour obtenir en un point donné

1. Comptes rendus de l'Académie des sciences, du 10 décembre 1860.

du circuit une tension dont la valeur absolue est donnée, et par le mot *durée de propagation relative*, le temps nécessaire pour obtenir en un point donné une fraction déterminée de la tension-limite qui appartient au même point.

Quand on fait abstraction de l'influence de l'air, les mêmes lois s'appliquent, à une seule exception près, à la durée de propagation absolue et à la durée de propagation relative, mais les perturbations qui résultent de l'action de l'air ou des dérivations régulières échelonnées en différents points du circuit, ne sont pas de même signe pour l'une et l'autre de ces durées de propagation. Or, voici les résultats auxquels l'expérience et le calcul ont conduit M. Gaugain :

1° Les causes perturbatrices provenant de l'action de l'air et des dérivations ont pour effet *d'augmenter la durée de la propagation absolue et de diminuer la durée de la propagation relative.*

2° Ces mêmes causes *font que la durée de la propagation absolue croît plus vite que le carré de la longueur du circuit, et que la durée de la propagation relative croît moins vite que le carré de cette longueur.*

Ces conséquences expliquent facilement le désaccord qui existe entre les déductions de M. Guillemin et de M. Gaugain, puisque l'un opérait dans un lieu parfaitement sec et avec un circuit complétement isolé, tandis que l'autre expérimentait sur des circuits télégraphiques toujours imparfaitement isolés et soumis à de nombreuses dérivations. D'ailleurs nous voyons qu'aussitôt que M. Gaugain s'est placé dans les mêmes conditions que M. Guillemin, les résultats qu'il a obtenus ont été concordants avec ceux de ce dernier savant.

Il est facile maintenant de se rendre compte des différences qui existent entre les divers chiffres qui ont été donnés pour représenter la vitesse de l'électricité. Elles tiennent précisément à ce que l'hypothèse qui a servi de base aux physiciens pour l'étude de la propagation de l'électricité n'est pas

exacte. Si, au lieu d'assimiler cette propagation à celle du son ou de la lumière, on l'eût assimilée à celle de la chaleur, comme l'avait fait Ohm dans l'origine, on aurait pu voir immédiatement que le temps de la transmission électrique ne peut être déterminé qu'autant qu'on introduit, comme donnée du problème, le degré de force que doit avoir le courant en un point déterminé du circuit. En ne tenant pas compte de cette circonstance, le chiffre de la vitesse de la propagation électrique dépend uniquement de la sensibilité des appareils employés ou du mode d'expérimentation, et ne peut être regardé que comme mesurant une époque plus ou moins longue de la période variable, époque qu'on ne saurait même déterminer d'une manière absolue. Voilà pourquoi M. Pouillet a trouvé que la vitesse de l'électricité devait être dix mille fois plus grande que celle de la lumière; alors que MM. Fizeau et Gounelle l'avaient trouvée de cent mille kilomètres par seconde dans un fil de fer de 4 millimètres, et MM. Mitchell et Walker, de quarante mille kilomètres seulement.

En définitive, il résulterait de tout ce que nous venons de dire qu'il n'y aurait pas de vitesse proprement dite de l'électricité, mais bien un temps de fluctuations électriques, pendant lequel l'intensité du courant augmenterait à une extrémité du circuit, alors qu'elle diminuerait à l'autre extrémité, et qui atteindrait sa limite extrême lorsque le courant, étant arrivé à son maximum, se trouverait avoir la même intensité en tous les points du circuit parcouru par lui. Ce temps dépendrait de plusieurs circonstances, mais surtout de la longueur du circuit, et, au lieu d'être proportionnel à la simple longueur du circuit, comme on serait porté à le croire, il serait proportionnel au carré de cette longueur. Enfin la force du courant accusée par les instruments dépendant du moment de la période variable auquel on expérimente et de la sensibilité des appareils, on comprend pourquoi les physiciens, qui n'ont fait en définitive

que mesurer diverses époques de cette période variable, se sont trouvés en désaccord et ont assigné des vitesses différentes à l'électricité.

M. Marié-Davy cependant, tout en admettant les conséquences qui précèdent et qu'il avait prévues lui-même, croit qu'il existe néanmoins un coefficient de vitesse qui résulte du fait même de la propagation de l'électricité dans des conducteurs de forme définie. Suivant lui, la question est double et peut être formulée de la manière suivante :

1° Un point du circuit étant soumis à l'influence du mouvement électrique, quel est le temps qui s'écoulera depuis le moment où le mouvement naîtra en ce point, jusqu'au moment où il aura atteint son amplitude normale?

2° Le mouvement électrique naissant en un point du circuit, quel temps s'écoulera jusqu'au moment où le même mouvement électrique naîtra en un point distant du premier d'une longueur égale à 1 ?

« C'est, dit-il, la seconde question qui a été particulièrement envisagée par M. Wheatstone d'abord, puis par MM. Fizeau et Gounelle, etc. La première a été plus spécialement l'objet de mes études, et les recherches de M. Guillemin ont eu pour conséquence d'englober les deux effets dans les déductions qu'elles ont fournies. »

Par suite d'expériences faites par M. Marié-Davy, la formule qui donnerait l'intensité i' d'un courant au bout d'un t, serait :

$$i' = i(1 - e^{-225\,it}),$$

i représentant l'intensité du courant normal, e la force électro-motrice de la pile[1].

Or, on conclut de cette formule comme exemple :

1° Que l'intensité du courant fourni par une pile de Bunsen de 10 éléments, dans un fil de cuivre de 2mm5 de dia-

1. Voir le mémoire de M. Marié-Davy, dans ses *Recherches sur l'électricité* (brochure, 1861, chez M. V. Masson).

mètre, tel que ceux qu'on employait dans les lignes télégraphiques, et d'une longueur de 120,000 lieues, mettrait une seconde pour arriver physiquement en chaque point du circuit à son état normal ;

2° Que l'intensité du courant fourni par la même pile dans un fil de cuivre de même section et de 12 lieues de long mettrait 0'' 004 pour arriver au même point.

Quand le circuit se trouve replié sur lui-même, comme cela a lieu quand il constitue l'hélice d'un électro-aimant, la formule précédente se complique et devient, suivant M. Marié-Davy :

$$i' = i\left(1 - e^{-\frac{it}{0,0045 + (0,0011 \times i)}}\right).$$

Et l'on en conclut que l'enroulement du circuit sur lui-même a pour effet d'allonger d'une manière notable la durée de la période d'installation du courant en chaque point du circuit. Et c'est aux influences mutuelles des spires les unes sur les autres que cet effet doit être attribué. Le phénomène est encore plus marqué lorsque la spirale entoure un cylindre de fer doux. Toutefois, nous devons dire que dans un récent travail M. Marié-Davy a modifié un peu sa formule[1], mais ses conclusions sont les mêmes.

Dans une des expériences de M. Marié Davy, faites avec deux bobines à garniture en cuivre ayant 10 centimètres de hauteur, 10 centimètres de diamètre extérieur et 5 centimètres de diamètre intérieur et fournissant 714 spires, on a trouvé que si les deux bobines composaient à elles seules le circuit, la durée de l'état variable était 17,3 fois plus longue qu'avec le même circuit déroulé, et que quand la longueur du fil des bobines était égale à celle du circuit rectiligne, elle était seulement 9,1 fois plus grande.

1. Voir le *Cosmos*, t. XIX, p. 16.

Recherches nouvelles sur les conductibilités.

Influence de la pression sur la conductibilité des corps. — En plaçant dans un récipient rempli d'air un fil de cuivre recouvert de gutta-percha et plié en zigzags sur une longueur de 0m92, et en le soumettant à une pression portée progressivement à 5,770 kilog., (ce qui équivaut à une pression de plus de 400 atmosphères), M. Wartmann a constaté que la conductibilité de ce fil avait diminué avec la pression, à partir de 30 atmosphères, qu'elle restait la même tant que la pression ne variait pas, et qu'elle reprenait exactement sa valeur primitive aussitôt que la force comprimante avait cessé d'agir. « Ces résultats établissent, dit-il, une nouvelle analogie entre l'électricité, la chaleur et la lumière, car il résulte des recherches de M. de Sénarmont : 1° que toute augmentation artificielle de densité chez un solide non cristallisé diminue, dans le sens où elle s'exerce, la conductibilité de ce corps pour la chaleur ; 2° que dans les milieux homogènes en équilibre forcé, l'allongement ou l'aplatissement de l'ellipsoïde thermique correspond nécessairement à l'allongement et à l'aplatissement de l'ellipsoïde optique. »

La pression du reste, mais sans doute en réagissant d'une autre manière, exerce un effet marqué sur la conductibilité de la gutta-percha immergée ; plus cette pression est grande, plus cette conductibilité est diminuée.

Influence de la chaleur sur la conductibilité des circuits. — La chaleur, comme on le sait, produit sur la conductibilité des corps des effets différents, suivant qu'ils sont solides ou liquides ; elle augmente généralement la conductibilité de ces derniers et diminue au contraire celle des autres. Or, il était important pour les calculs à faire sur les circuits électriques de savoir de combien augmente la résistance des différents

métaux pour chaque degré d'élévation de la température à laquelle ils peuvent être soumis. M. Ed. Becquerel a fait sur ce sujet un travail très important qui fait partie de son mémoire sur les piles (inséré dans les Annales du Conservatoire de 1860), et il en résulte que ces coefficients d'augmentation de résistance sont pour

Le mercure....................	0,001040
Le platine....................	0,001861
L'or..........................	0,003397
Le zinc.......................	0,003675
L'argent......................	0,004022
Le cadmium....................	0,004040
Le cuivre.....................	0,004097
Le plomb......................	0,004349
Le fer........................	0,004726
L'étain du commerce...........	0,005042
L'étain pur...................	0,006188

Avec ces coefficients que nous pouvons représenter individuellement par a, la formule donnant la résistance R′ d'un fil à une température donnée t, est représentée par :

$$R' = R(1 + at),$$

R désignant la résistance de ce fil à zéro.

L'emploi de cette formule est facile, car si on veut connaître, par exemple, quelle est à 20° la résistance d'un fil de fer dont la résistance à 0° serait R, on aurait :

$$R' = R(1 + 20 \times 0,004726).$$

Dans les expériences que j'ai eu occasion de faire l'été dernier à l'Administration des lignes télégraphiques, j'ai pu reconnaître d'une manière bien frappante cette influence de la température sur la résistance des circuits télégraphiques; j'opérais sur une série de fils exposés en plein air ayant 1735 mètres de longueur chacun, et en les combinant je

pouvais former un circuit de près de 40 kilomètres. Or, j'ai pu m'assurer que non-seulement les différences thermométriques de l'air ambiant produisaient des écarts très-considérables dans la résistance d'un même circuit, mais encore que la plupart des influences atmosphériques pouvant provoquer sur les fils un échauffement ou un refroidissement se faisaient sentir très-visiblement. Ainsi, les passages des nuages devant le soleil, l'évaporation plus ou moins prompte des gouttes de pluie sur les fils, les temps secs et les temps humides se reflétaient en quelque sorte par les différences de résistances qui se produisaient tout à coup. Pour qu'on puisse s'en faire une idée, je vais rapporter ici quelques-uns des chiffres que j'ai obtenus avec un circuit complet de 7,012 mètres, en faisant remarquer que 1 tour du rhéostat que j'ai employé représente 34 mètres 35 de fil télégraphique de 3 millimètres de diamètre à 12° de température.

	Résistance.	Température.	
Le 20 mai 1861.	214,34	20,4	soleil.
Le 21 —	214,66	21,6	couvert.
Le 22 —	214,46	22	très-couvert.
Le 23 —	214,82	22,4	couvert.
Le 24 —	212,80	19.7	soleil voilé.
Le 25 —	217,38	22,4	soleil.
Le 27 —	220,49	26,8	id.
Le 28 —	220,02	27	soleil voilé.
Le 30 —	214,17	19,9	couvert.
Le 31 —	216,29	23,9	soleil.
Le 1er juin	209,80	16,1	couvert.
Le 20 —	221,27	29,7	soleil.
Le 24 —	213,32	20,3	soleil voilé.
Le 25 —	214,79	22,6	couvert.
Le 26 —	214,15	22,4	id.
Le 28 —	215,15	23,4	soleil voilé.
Le 29 —	213,29	19,5	id.

Lorsque le circuit n'était plus que de 3,506 mètres, ces chiffres étaient :

	Résistance.	Température.	
Le 20 mai 1861.	107,39	20,1	soleil.
Le 21 —	107,52	21,7	couvert.
Le 22 —	107,37	21,8	id.
Le 23 —	107,37	22	id.
Le 24 —	106,78	19,8	soleil voilé.
Le 25 —	108,82	22,5	soleil.
Le 27 —	110,37	26,9	id.
Le 28 —	109,86	28,1	soleil voilé.
Le 30 —	107,51	19,5	couvert.
Le 31 —	108,09	23,7	soleil.
Le 1er juin	104,42	15,6	couvert.
Le 20 —	110,86	29,7	soleil.
Le 24 —	106,80	20,7	soleil voilé.
Le 25 —	107,09	22	couvert.
Le 26 —	107,17	22,2	id.
Le 28 —	107,67	23,7	soleil voilé.
Le 29 —	106,26	20	id.

On voit par ces derniers nombres, qui sont à bien peu de choses près la moitié de ceux qui les précèdent, que l'augmentation de résistance des circuits avec la température est proportionnelle à la longueur des fils et à cette température. De sorte que si on représente par T — T′ la différence des températures observées, L, la longueur d'une ligne télégraphique, k, un coefficient en rapport avec l'augmentation de la résistance de 1 kilomètre de fil télégraphique pour un degré de température, on pourra connaître l'augmentation de résistance ρ de cette ligne, par rapport à la température, au moyen de la formule :

$$\rho = \left(T - T'\right) \frac{L}{1000} k.$$

J'ai cherché à déduire la valeur moyenne de ce coefficient k des nombreuses expériences que j'avais faites (elles sont au nombre de près de 600) sur différents échantillons de fil, et j'ai reconnu qu'il devait être représenté par 4,545, de sorte que la formule devient :

$$\rho = (T - T')\frac{L}{1000}\cdot(4{,}545) = (T - T')L\cdot 0{,}004545.$$

Dans l'expression de la valeur de ce coefficient, j'ai fait entrer, bien entendu, celle qui est en rapport avec les variations de résistance du fil du rhéostat par suite des variations de température de la salle où j'avais opéré. Sans cette précaution, la formule serait, en prenant les constantes en fonction du fil du rhéostat :

$$\rho = (T - T')\frac{L}{101{,}2}\cdot 0{,}37 + (t - t')\frac{L}{101{,}2}\cdot 0{,}09,$$

t' t' désignant les différentes températures de la salle d'expériences, et le coefficient $101^k{,}2$ représentant en moyenne la résistance du circuit de 3,506 mètres à 12° de température ambiante.

Si on cherche, d'après ces formules, l'augmentation de résistance d'un mètre de fil télégraphique pour un degré de chaleur, on trouve 0,004545, chiffre du reste bien rapproché de celui trouvé par M. Ed. Becquerel[1]. Quoi qu'il en soit, ces formules montrent que la résistance d'une ligne télégraphique de 100 lieues peut varier de l'été à l'hiver, en admettant comme températures extrêmes — 10° et + 30°, de plus de 7 kilomètres.

Influences de l'écrouissage sur la conductibilité des circuits. — Parmi les 20 fils de la ligne d'essai que j'avais à ma disposition à l'Administration des lignes télégraphiques, 10 étaient en fer recuit d'un diamètre moyen de $2^{mm}9255$, et les 10 autres d'un diamètre moyen de $2^{mm}9439$ en fer non recuit. Il m'était, par conséquent, facile de comparer les

1. Le chiffre que que j'ai obtenu est de 0,000181 plus faible ; mais il ne faut pas qu'on s'en étonne, puisque le fil télégraphique est recouvert de zinc et que le coefficient de résistance de celui-ci est moins élevé que celui du fer. (Voir les *Annales télégraph.*, t. V, p. 39).

résistances de circuits de même longueur composés avec ces deux espèces de fils. J'ai obtenu les chiffres suivants pour une première série d'expériences faites le 20 mai 1861 :

			Résistance.	Température.
1° Pour les fils nos	1, 2, 3 et 4	(recuits).....	214,34 ...	20,4
2° —	— 5, 6, 7 et 8	(id.)......	205,01 ...	id.
3° —	— 10, 11, 12 et 13	(non recuits).	217,45 ...	20,3
4° —	— 14, 15. 16 et 17	(id.)	220,09 ...	20,9

Pour une autre série faite le 27 mai.

			Résistance.	Température.
1° Pour les fils nos	1, 2, 3 et 4	....	220,49 ...	26,8
2° —	— 5, 6, 7 et 8	....	211,33 ...	26,8
3° —	— 10, 11, 12 et 13	....	223,67 ...	26,8
4° —	— 14, 15, 16 et 17	....	225,98 ...	26,8

Or, il résulte de ces nombres, que si les fils non recuits sont plus résistants que les fils recuits dans la proportion de 1 à 1,041, la différence de conductibilité entre les différents échantillons appartenant à une même nature de ces fils peut être souvent plus considérable que celle provenant de la différence de leur état d'écrouissage. Nous voyons, en effet, qu'entre les 4 échantillons de fil recuit numérotés 5, 6, 7 et 8, et les 4 autres échantillons du même fil recuit numérotés 1, 2, 3, 4, la différence de conductibilité peut atteindre 9^{k},33, tandis que la différence entre les 4 échantillons 10, 11, 12, 13 en fil non recuit et les échantillons 1, 2, 3, 4 en fil recuit, peut n'être que 3^{k},11. Il est vrai que les fils 1, 2, 3, 4 provenaient de la fabrique de MM. Petin et Gaudet, tandis que les fils 5, 6, 7 et 8 provenaient de la fabrique de MM. Boygues et Rambourg. Leur diamètre moyen était d'ailleurs sensiblement le même, car il était pour les premiers 2^{mm}9275, et pour les seconds 2^{mm}9236, et ces chiffres représentent la moyenne de 10 mesures micrométriques pour chaque fil. Sans doute, il existe aussi une diffé-

rence de conductibilité bien marquée entre les fils 10, 11, 12, 13 et les fils 14, 15, 16, 17, provenant de la même fabrique (celle de M. Menans), et ayant pour diamètre moyen : les premiers $2^{mm}9408$, les derniers $2^{mm}9470$, mais il est facile de voir que la plus grande cause de variation dans la conductibilité des fils de fer vient de leur provenance, ou, ce qui revient au même, de leur degré de pureté. Du reste, voici d'après M. Ed. Becquerel, le rapport de conductibilité de fils sortant de la filière et des mêmes fils recuits à une température de 600 degrés.

Pour les fils d'argent.............	1,0701
— de cuivre pur........	1,0264
— d'or pur.............	1,0166
— de platine...........	1,0130
— de fer...............	1,0101

Nouvelles recherches de M. Ed. Becquerel sur la conductibilité des métaux et des liquides. — Les nouvelles recherches de M. Ed. Becquerel lui ont fourni les nombres suivants, pour exprimer les pouvoirs conducteurs des différents métaux rapportés à celui de l'argent représenté par 100.

Argent.............	100	Ces chiffres ont été déterminés avec des fils recuits à 600° et maintenus à une température égale à 0°.
Cuivre pur.........	de 94,01 à 89,14	
Cuivre du commerce.	de 91,95 à 86,70	
Fer pur............	de 12,25 à 12,94	
Fer du commerce...	de 12,94 à 10,04	
Or pur.............	65,46	
Aluminium.........	44,69	
Cadmium..........	24,56	
Zinc..............	24,16	
Étain..............	13,66	
Palladium.........	11,73	
Cobalt.............	10,67	
Nickel.............	10,37	
Platine............	10,16	
Plomb.............	8,25	
Mercure...........	1,6121	

Quant à la conductibilité des liquides, voici les chiffres qu'il a obtenus.

Substance	Conductibilité	Observations
Argent pur.............	100,000,000	A une température de 0°.
Eau acidulée avec de l'acide sulfurique au dixième..... .	76,34	Ces déterminations ont été faites à une température voisine de 20°.
Acide azotique à 36°.........	105,41	
Solution de sulfate de cuivre..	7,25	
Id. acidulée au centième......	10,79	
Solution concentrée de sel marin......................	42,24	
Solution saturée de sulfate de zinc......................	7,79	

La résistance des liquides diminue du reste considérablement, ainsi que nous l'avons dit, à mesure que leur température s'élève ; ainsi pour certaines dissolutions passant de 0° à 40°, elle peut être réduite dans le rapport de 100 à 50. Elle peut d'ailleurs être calculée approximativement au moyen de la formule $R' = \frac{R}{1 + \alpha t}$, R représentant la résistance expérimentée à une température connue, R′ représentant la résistance inconnue, t la température à laquelle doit être soumis le liquide, et α un coefficient qui est :

Pour la solution de sulfate de cuivre.......	0,0286
Pour la solution de sulfate de zinc.........	0,0223
Pour l'acide azotique......................	0,0263

Influence des dérivations par l'humidité de l'air sur la conductibilité des circuits. — Malgré toutes les précautions qui ont été prises pour rendre l'isolement des lignes le plus parfait possible, il se produit toujours par les temps pluvieux, et surtout par les brouillards humides, des dérivations dont il est utile de connaître l'importance, ne serait-ce que pour le calcul de la force électrique qui doit être appliquée à une ligne pour le bon fonctionnement des appareils. Si l'on considère que la condensation des vapeurs qui se fait sur les

supports des lignes télégraphiques constitue une couche humide qui rend ces supports plus ou moins conducteurs, on comprend immédiatement que c'est surtout par eux que les pertes électriques doivent se produire. Cependant l'air humide devrait théoriquement exercer aussi une certaine influence, car on sait qu'une machine électrique, dans une atmosphère humide, ne peut jamais fournir d'électricité. Quelle est la part de chacune de ces deux actions? C'est ce que plusieurs savants ont cherché à éclaircir, et il est résulté de leurs recherches que pour des courants de faible tension, comme les courants de pile employés dans la télégraphie, la perte par l'air humide est très-peu considérable. Moi-même je m'en suis assuré de la manière suivante : j'ai pris un grand chaudron de cuivre rempli d'eau que j'ai fait bouillir d'une manière constante sur un foyer très-actif, et au-dessus de ce chaudron j'avais suspendu par un fil métallique de cuivre un large couvercle, éloigné à peine de 2 centimètres du liquide en ébullition. Je faisais communiquer le chaudron avec la pôle positif d'une pile de 30 éléments Daniell, et le couvercle avec le pôle négatif; et une boussole des sinus de 100 tours était interposée dans le circuit. Par cette disposition, la boussole devait accuser la présence d'un courant, si la vapeur d'eau eût été conductrice. Or, je n'ai observé rien de semblable. La boussole est toujours restée dans la plus complète immobilité, et pourtant cet instrument était assez sensible pour accuser la présence d'un courant produit par l'immersion successive dans l'eau de deux lames de fer de 2 centimètres de largeur. C'est donc aux dérivations produites par la légère couche humide qui recouvre les supports par les temps humides, qu'il faut rapporter presque exclusivement les pertes électriques des circuits télégraphiques. Or, voici les expériences que l'on peut faire pour mesurer la valeur de la résistance produite par chacun de ces supports.

On isole la ligne à l'une de ses extrémités, et on interpose, sur le fil unissant l'autre extrémité à une pile intense mise déjà en relation avec la terre, une boussole des sinus très-sensible; on note les déviations observées par les différents temps, et particulièrement par les temps humides et pluvieux, et après avoir compté approximativement le nombre des supports de la ligne en divisant la longueur de celle-ci (en mètres) par 75, distance moyenne de l'écartement des poteaux (du moins avec les lignes en fil de 4 millimètres), on obtient la valeur de la résistance a de chacune des dérivations par la formule

$$a = \frac{nd(E - IR)}{I},$$

n représentant le nombre d'éléments de la pile, d, le nombre des dérivations, E, la force électro-motrice de chaque élément de la pile, I, l'intensité du courant observée, R, la résistance de chaque élément de pile.

Cette formule dérive de l'expression

$$I = \frac{nE}{nR + \frac{a}{d}}$$

qui représente dans ce cas la valeur de l'intensité I du courant, d'après les lois d'Ohm. En effet la résistance du circuit ne peut être alors représentée que par la somme de toutes les dérivations à la terre occasionnées par les supports; or d'après les formules des courants dérivés, si ces dérivations sont au nombre de trois par exemple, et qu'on les suppose égales entre elles (ce que l'on peut admettre en raison de leur immense valeur par rapport à celle de la résistance de la ligne), leur résistance totale sera égale à

$$\frac{a \times a \times a}{a \times a + a \times a + a \times a} \quad \text{ou} \quad \frac{a^3}{2a^2} \quad \text{ou} \quad \frac{a}{2}$$

et par conséquent pour d dérivations, elle sera $\frac{a}{d}$.

Comme la valeur de E par rapport à R et à I dépend de l'instrument que l'on emploie, il est nécessaire que cette valeur soit déterminée au moyen de la boussole qui a fourni la valeur de I.

On pourrait encore déterminer cette valeur de a au moyen des deux formules

$$a = \frac{d\,R\,l}{\frac{E}{I} - \frac{l}{n} - R}, \qquad a' = \frac{l d\left(2R + \frac{l}{n}\right)}{\frac{4E}{I} - \frac{4l}{n} - 4R},$$

qui dérivent des équations

$$I = \frac{nE\frac{a}{d}}{nR\left(l + \frac{a}{d}\right) + l \times \frac{a}{d}} \quad \text{et} \quad I' = \frac{nE\frac{a}{d}}{\left(nR + \frac{l}{2}\right)\left(\frac{a}{d} + \frac{l}{2}\right) + \frac{a}{d} \times \frac{l}{2}}$$

représentant l'intensité du courant dans une ligne télégraphique l soumise à des dérivations : 1° dans le cas où les dérivations étant supposées appliquées aux pôles mêmes de la pile sont le moins défavorables; 2° dans le cas où ces mêmes dérivations étant supposées appliquées au milieu du circuit sont le plus défavorables, ainsi que le calcul le démontre.

Dans ces diverses équations les valeurs de a et de I sont données par la moyenne des deux valeurs a et a', I et I', qui se trouvent successivement déduites.

De ces mêmes équations l'on déduit également :

$$1^{\circ} \quad n = \frac{l I a}{aE - RI(a + ld)}, \qquad 2^{\circ} \quad n' = \frac{(4a + ld) l I}{4Ea - 2IR(2a + ld)},$$

qui montrent que l'on n'est pas toujours maître d'obtenir une intensité donnée sur un circuit télégraphique, quand bien même on augmenterait indéfiniment la force de la pile. En effet les limites extrêmes de ces valeurs de n (dans le cas

où toutes les valeurs l l $a\,d$, etc., sont connues) sont atteintes quand

$$1^o \quad aE = RI(a + ld), \qquad 2^o \quad 4aE = 2IR(2a + ld);$$

c'est-à-dire (en supposant les poteaux télégraphiques éloignés de 75 mètres les uns des autres) quand

$$1^o \quad l = \sqrt{\frac{a(E - RI)}{RI}} \times 75, \qquad 2^o \quad l' = \sqrt{\frac{2a(E - RI)}{RI}} \times 75,$$

d'où l'on conclut que la longueur d'une ligne télégraphique sur laquelle on peut obtenir une intensité électrique donnée est très-limitée, et peut être plus ou moins grande suivant les valeurs relatives de a, de I et de d. Plus les valeurs de I et de d sont considérables, plus cette longueur est petite; au contraire plus la valeur de a est grande, plus cette longueur est considérable.

Du reste, il est facile de voir que la valeur minima de la quantité a pour correspondre à une intensité donnée avec un nombre indéfini d'éléments de la pile est donnée par l'équation [1]

$$a = \frac{3RIld}{4(E - RI)}.$$

L'expérience montre que la perte d'électricité sur les lignes bien isolées et par les temps humides est d'environ un dixième, c'est-à-dire de 2 degrés pour une intensité de 20°. D'après ce chiffre, la valeur de a pourrait être estimée à environ un milliard et demi de mètres de fil télégraphique de quatre millimètres, et il en résulterait que la force électro-magnétique d'un électro-aimant de 200 kilomètres de

1. Voir mon *Étude des lois des courants*, p. 119.

Voir aussi le mémoire de M. Blavier sur cette question dans les *Annales télégraphiques*, t. I, p. 220, et celui de M. Ducolombier dans le même ouvrage, t. IV, p. 609.

résistance, interposé sur une ligne de 400 kilomètres, pourrait être diminuée dans le rapport 70 à 40, c'est-à-dire de près de moitié. Dans ces conditions, la plus grande longueur du circuit à laquelle on pourrait fournir l'intensité 0,320 nécessaire pour faire fonctionner les appareils est 1664 kilomètres ou 413 lieues avec un fil de quatre millimètres de diamètre [1], et encore faudrait-il alors que la pile fût composée d'un nombre infini d'éléments.

Polarisation des fils télégraphiques. — M. Jacobi, dans un très-intéressant mémoire lu à l'Institut le 31 octobre 1859, a montré que les lignes télégraphiques mal isolées pouvaient acquérir, par suite du passage des courants transmis, une certaine polarisation qui donne lieu à un courant secondaire souvent très-énergique dirigé dans le sens du courant primitif de

1. Voir mon *Étude des lois des courants.* — Les formules que nous avons données dans cet ouvrage ne se rapportent qu'à un circuit sans électro-aimant ou avec un électro-aimant de même résistance que le circuit lui-même. Mais quand la résistance de cet électro-aimant est donnée comme dans l'exemple ci-dessus, elles sont un peu différentes; en désignant par t la résistance de l'électro-aimant, elles deviennent :

Pour les valeurs de l :

$$1^{\circ}\ l=\frac{-t}{2}+\sqrt{\frac{t^2}{4}+\frac{75\times a(\mathrm{E}-\mathrm{IR})}{\mathrm{IR}}},\qquad 2^{\circ}\ l=\frac{-t}{2}+\sqrt{\frac{t^2}{4}+\frac{75\cdot 2a(\mathrm{E}-\mathrm{IR})}{\mathrm{IR}}};$$

Pour les valeurs de n

$$1^{\circ}\quad n=\frac{(t+l)\mathrm{I}a}{a\mathrm{E}-\mathrm{IR}[a+(t+l)d]},\qquad 2^{\circ}\quad n=\frac{[4a+d(t+l)](t+l)\mathrm{I}}{4\mathrm{E}a-2\mathrm{IR}[2a+(t+l)d]};$$

Pour les valeurs de I

$$1^{\circ}\quad \mathrm{I}=\frac{n\mathrm{E}\frac{a}{d}}{n\mathrm{R}\left(\frac{a}{d}+t+l\right)+\frac{a}{d}(t+l)},\qquad 2^{\circ}\quad \mathrm{I}=\frac{n\mathrm{E}\frac{a}{d}}{n\mathrm{R}+\frac{t+l}{2}\left(\frac{a}{d}+\frac{t+l}{2}\right)+\frac{a}{d}\left(\frac{t+l}{2}\right)}.$$

l représente dans ces formules la longueur de la ligne, I l'intensité du courant, n le nombre d'éléments de la pile, E la force électro-motrice de chacun de ces éléments, R leur résistance, d le nombre des dérivations, a la résistance de ces dérivations.

la batterie, et subsistant encore longtemps après la cessation ou l'interruption de ce dernier. « Ce courant secondaire, dit M. Jacobi, diminue d'intensité avec le temps ; cependant on le voit rarement disparaître entièrement, à moins qu'on ne lui oppose un courant d'égale intensité et de direction contraire. A l'enfance de la télégraphie où il n'y avait que des conduits mal isolés, j'ai étudié la phénoménologie de ces courants de polarisation sur des courants souterrains établis dans les environs de Saint-Pétersbourg même. Les *Bulletins scientifiques de l'Académie impériale des sciences* contiennent une série de mémoires publiés à ce sujet. Les perfectionnements apportés depuis aux conduits électriques ont beaucoup diminué l'intérêt de ces recherches ; je veux mentionner cependant comme un fait curieux que plus d'une fois on a réussi à décomposer des solutions de nitrate d'argent aux deux extrémités d'un conduit souterrain de 25 kilomètres de long, sans le concours d'un courant principal, uniquement par le courant secondaire recueilli longtemps après qu'une batterie de huit grands éléments de Daniell avait agi sur ce conduit. Dans une note lue à l'Académie impériale des sciences de Saint-Pétersbourg, il y a douze ans, j'ai indiqué le moyen par lequel j'ai réussi à combattre ces difficultés, jusque-là jugées insurmontables ; il s'agissait alors de remplir le désir de mon auguste monarque et de continuer la transmission des dépêches à travers un conduit souterrain dont l'isolement était devenu tellement défectueux, que j'ai été plusieurs fois tenté de mettre bas les armes et de renoncer entièrement à l'emploi de ce conduit. On sait que ce moyen consiste dans l'emploi d'un ou de plusieurs couples de larges électrodes de platine plongeant dans un vase rempli d'acide sulfurique étendu d'eau et interposées dans le circuit près de l'électro-aimant récepteur. Il est évident que, par l'action du courant principal de la batterie, ces électrodes étant polarisées dans le même sens que le fil conducteur, ils

engendrent dans la bobine de l'électro-aimant, après l'interruption du circuit à la station opposée, un courant de direction contraire à celui provenant de la polarisation du conduit souterrain. Il est facile de se rendre compte de ces effets en faisant une esquisse de la combinaison mentionnée dont l'efficacité a pleinement justifié mes prévisions ; en effet, la transmission des dépêches n'était devenue possible que par l'emploi des électrodes ou de cette contre-batterie de platine. En la mettant hors d'activité, la réception des signaux fut subitement arrêtée par l'attraction permanente exercée sur l'armature par l'électro-aimant. Il est curieux d'observer les effets successifs de ces courants de polarisation opposés, en remplaçant l'électro-aimant par quelque multiplicateur qui ne soit pas trop sensible. En rompant le circuit à la station opposée, on voit l'aiguille lancée subitement vers sa position d'équilibre qu'elle dépasse pour prendre une déviation dans cette direction ; mais la polarisation des électrodes de platine, quoique plus forte que celle du circuit, est cependant de moindre durée que cette dernière ; c'est donc elle qui prend de nouveau le dessus et ramène l'aiguille du côté de sa première déviation. Cette succession des courants opposés a pour effet, dans le cas d'un électro-aimant, d'en détacher l'armature. Il ne peut d'ailleurs pas être question de la résistance que la contre-batterie ajoute à celle du circuit principal. Pourvu que le liquide qu'on emploie soit un bon conducteur et que les électrodes ne soient pas trop étroites, cette résistance n'entre pas en ligne de compte, s'il s'agit d'un circuit télégraphique d'une certaine étendue. »

M. Jacobi montre ensuite que l'emploi de sa contre-batterie de platine peut détruire le courant de retour dans les câbles sous-marins bien isolés et peut seule rendre les télégraphes électro-chimiques d'une application facile et satisfaisante. Elle a de plus l'avantage de détruire les effets du

magnétisme rémanent dans les électro aimants. Mais nous verrons plus tard comment M. Jacobi dispose cet appareil pour obtenir ce résultat.

Influence du galvanisage des fils télégraphiques sur les transmissions électriques.

M. Loir, dans un article inséré dans les *Annales télégraphiques* (tome IV), est entré dans quelques détails intéressants sur l'effet de l'oxydation des fils télégraphiques dans les transmissions électriques, et il est arrivé à constater que quand, par une cause quelconque (et au nombre de ces causes il cite particulièrement les fumées émanant du charbon de terre), l'enveloppe de zinc dont sont recouverts les fils se trouve altérée, il se forme entre le fer mis à nu et le zinc un couple voltaïque dont l'action est très-sensible et dont la force varie avec la grandeur des parties de fil dénudées et l'état plus ou moins humide de l'atmosphère. « On trouve dans cet effet, dit-il, l'explication de certains phénomènes qui se produisent quelquefois sur les lignes électriques et qu'on ne saurait raisonnablement attribuer aux effets atmosphériques. Dans tous les cas, l'intervention de pareils couples est nuisible à la transmission électrique et contribue à la destruction de l'enveloppe de zinc, puisque celle-ci forme comme l'électrode soluble d'un système galvanoplastique.

Transmissions télégraphiques sans fils conducteurs.

Nous avons parlé dans nos précédents volumes des efforts tentés pour obtenir des transmissions télégraphiques sans fils conducteurs. Malgré le peu de réussite qu'ont eu ces essais, plusieurs physiciens s'occupent encore de cette question. Nous citerons entre autres M. Lindsay, qui, à la suite de cer-

taines expériences, est arrivé à conclure qu'avec deux stations convenablement choisies, l'une en Angleterre, l'autre en Écosse et deux autres stations correspondantes bien choisies en Amérique, il serait possible de transmettre directement des messages télégraphiques à travers l'océan Atlantique. Son opinion est basée sur ce que les transmissions électriques de ce genre dépendent de trois éléments qu'il est toujours facile de faire varier : 1° de la force de la batterie employée ; 2° de l'étendue de la surface des plaques métalliques qui établissent la communication des appareils avec le liquide aux deux stations ; 3° de la distance latérale de ces plaques à chaque station. Il prétend qu'en doublant ou en triplant un de ces éléments, on double ou on triple la distance de transmission possible, et par suite qu'en doublant ou en triplant à la fois ces trois éléments, on rendrait cette distance six fois ou neuf fois plus grande.

ÉTUDE DES CABLES SOUS-MARINS.

Les nombreux cas d'insuccès des câbles sous-marins qu'on a eu à regretter dans ces derniers temps, et leurs fréquentes altérations, ont provoqué récemment une foule de recherches et d'études qui ont jeté quelque lumière sur cette question si complexe de la science électrique, et qui auraient dû logiquement précéder les essais qu'on a faits de ces câbles sur une grande échelle[1]. Grâce à ces recherches, on est aujourd'hui beaucoup mieux fixé sur les conditions de leur construction, sur la manière de les poser et de leur appliquer l'électricité, et sur les phénomènes particuliers auxquels ils donnent lieu. Si on avait eu dans l'origine toutes ces connaissances, on aurait été bien certainement plus prudent

1. Voir le rapport de la commission anglaise pour l'examen des câbles sous-marins. — Nous donnerons un résumé de ce rapport dans nos appendices.

qu'on ne l'a été. Cette science n'est du reste encore aujourd'hui qu'à son début, et il reste encore beaucoup à apprendre avant d'arriver à prévenir toutes les difficultés qui surgissent à chaque pas dans ce genre de transmission télégraphique. Mais si on ne peut prévoir toutes ces difficultés, on connaît du moins les principaux phénomènes qui sont en jeu, et c'est déjà beaucoup, car un homme averti en vaut deux, dit le proverbe.

Il était d'abord essentiel d'être bien fixé sur le phénomène de la condensation électrique, produit par la réaction du courant à travers l'enveloppe isolante du conducteur. Ce phénomène est-il simple comme celui produit dans les condensateurs, ou se complique-t-il d'autres effets? C'est ce qu'ont recherché plusieurs physiciens, entre autres MM. Gaugain, Siemens, Guillemin, Gounelle, Thomson, etc., et il est résulté de leurs savants travaux que l'enveloppe isolante des câbles sous-marins, tout en provoquant un effet très-marqué de condensation, jouit d'une conductibilité propre qui permet à l'électricité de se propager par cette voie d'une façon particulière, et qui contribue beaucoup aux effets si anormaux qu'on a remarqués dans les transmissions électriques à travers les lignes sous-marines. On a reconnu également que la capacité inductive de ces enveloppes isolantes varie suivant leur nature, leur épaisseur et la forme géométrique de leur section par rapport à l'âme métallique du câble, et peut être indépendante de leur pouvoir conducteur; par suite, cette capacité peut être représentée par une quantité qui doit être constante pour une même espèce de câble, tandis que le pouvoir conducteur est soumis aux lois de la section et de la longueur. De plus, la capacité inductive est indépendante des défauts d'isolement du câble. Ces deux propriétés ont néanmoins une certaine corrélation, car l'expérience a démontré que c'est la substance qui isole le mieux qui a le pouvoir condensant le plus faible. Quant à la

part qui revient à chacune d'elles dans les effets produits sur les câbles sous-marins, elle est plus difficile à déterminer. Suivant MM. Gounelle et Guillemin, le rôle le plus important serait réservé à la condensation, et ce serait à elle qu'on devrait attribuer le courant de décharge qui suit immédiatement l'émission d'un courant à travers les câbles sous-marins. Le rôle de la conductibilité de l'isolant serait d'absorber lentement une partie de l'électricité du conducteur, de la propager latéralement ou de la perdre par dérivations, et de fournir dans le conducteur après l'interruption du courant une décharge très-lente qui se continuerait longtemps après que le courant de décharge dont nous avons parlé précédemment aurait cessé. Il paraîtrait même que le sens du courant transmis aurait une influence sur cette conductibilité et qu'elle serait plus grande avec les courants négatifs qu'avec les courants positifs. Enfin, d'après M. Ducolombier, il résulterait de ces différentes réactions que la vitesse de propagation du courant transmis gagnerait considérablement à ce que la pile fût la moins résistante possible.

Plusieurs physiciens ont recherché les rapports des capacités inductives des différentes substances isolantes employées pour les câbles sous-marins, et ils ont trouvé que si cette capacité est représentée par 1 pour le gutta-percha, elle est représentée par 0,7 pour le caoutchouc, et par 0,8 pour l'isolant de Wray. La résistance de l'enveloppe de gutta-percha peut d'ailleurs être estimée pour une épaisseur moyenne de 3^{mm},62, et une longueur de 1852 mètres, à 24 millions de kilomètres de fil télégraphique de quatre millimètres de diamètre. C'est l'isolement le plus parfait qu'on ait obtenu jusqu'ici avec cette substance.

Nous allons maintenant entrer dans quelques détails sur les différentes recherches qui ont été faites sur cette question.

Recherches de M. Gaugain.—Les recherches de M. Gaugain

ont été faites principalement en vue d'étudier comparativement la manière dont s'opère la condensation électrique avec la gutta-percha, substance médiocrement isolante, et la gomme laque, substance considérée par ce savant comme parfaitement isolante. Pour cela, M. Gaugain a comparé la manière dont s'effectuait la charge électrique dans deux conducteurs semblables, isolés l'un avec de la gutta-percha, l'autre avec de la gomme laque; et pour provoquer la condensation, ces conducteurs étaient recouverts de feuilles de papier d'étain.

En chargeant dans les mêmes conditions ces espèces de condensateurs cylindriques, c'est-à-dire en faisant communiquer le fil intérieur avec la source électrique et l'enveloppe extérieure avec le sol, M. Gaugain a pu constater :

1° Qu'avec le condensateur à gomme laque, la charge que prend l'une ou l'autre des armatures est à peu près indépendante du temps pendant lequel le fil reste en rapport avec la source électrique ;

2° Que cette charge peut être absorbée en quelques instants au moyen d'une communication métallique réunissant le fil à l'enveloppe métallique ;

3° Qu'avec le condensateur à gutta-percha il est loin d'en être ainsi, car la charge qu'il reçoit varie très-notablement suivant le temps qu'on le laisse en communication avec la source électrique, et cette charge portée au maximum est toujours supérieure à celle que peut prendre le condensateur à gomme laque;

4° Que pour décharger le condensateur à gutta-percha il faut un temps assez considérable.

M. Gaugain a naturellement inféré de ces expériences que la gutta-percha possède une certaine conductibilité qui lui permet d'absorber et de restituer lentement l'électricité, et à laquelle doivent être rapportés selon lui les effets particu-

liers qui accompagnent les transmissions électriques à travers les lignes sous-marines. « En effet, dit M. Gaugain, quand le circuit est fermé à la station de départ, il faut d'abord que le fil conducteur se charge plus ou moins complétement avant que le courant puisse agir sur l'appareil récepteur, et par conséquent l'absorption qui a pour effet d'augmenter la valeur de la charge doit nécessairement ralentir la transmission des signaux. En outre, quand le circuit, après avoir été fermé vient à être ouvert, la gutta-percha qui s'est pour ainsi dire imbibée d'électricité doit la restituer, et le récepteur doit continuer à recevoir un courant après que la station de départ a cessé d'envoyer. Ces inconvénients doivent nécessairement se faire sentir d'autant plus vivement, que l'on opère sur des lignes plus longues. »

M. Gaugain, d'ailleurs, tout en admettant que l'action inductive exercée par l'électricité à travers des enveloppes plus ou moins isolantes puisse varier suivant la nature de ces enveloppes et indépendamment de leur pouvoir conducteur, croit que le phénomène lui-même de la condensation n'est qu'un cas de la transmission électrique à travers les corps mauvais conducteurs, cas prévu par Ohm et qui a sa formule. Par une série d'expériences très-curieuses, dans le détail desquelles nous ne pouvons entrer, M. Gaugain en effet a démontré que l'expression de la charge d'un condensateur cylindrique peut être représentée par la formule

$$\rho = k \log \frac{R}{r},$$

ρ désignant la résistance à l'influence, R et r représentant les rayons respectifs des cylindres extérieur et intérieur, k une constante qui dépend de la capacité inductive de l'isolant et de la longueur des cylindres employés. *Or, cette formule peut être déduite à priori de la propagation par voie de*

conductibilité en regardant ρ comme exprimant la résistance à la conductibilité de la partie isolante, et pour rendre cette formule applicable à l'un ou à l'autre cas, il suffit de changer la signification de la constante k. M. Gaugain a vérifié l'exactitude de cette hypothèse sur les condensateurs planes, sphériques et même les condensateurs cylindriques dont les armatures ne sont pas concentriques. Cette théorie n'a d'ailleurs rien qui puisse surprendre, car Faraday, dans un de ses mémoires publiés en 1837 (*Experimental researches*, livre XI, n° 1320), dit lui-même « *que la faculté d'isoler et la faculté de conduire ne sont que deux degrés extrêmes d'une même propriété, et devront être considérées comme étant de même nature dans toute théorie mathématique suffisante.* »

Recherches de M. Siemens. — M. W. Siemens croit, comme M. Gaugain, que la condensation n'est qu'un cas de la conductibilité électrique et établit dans cette hypothèse une formule que l'expérience, suivant lui, a toujours vérifiée. Voici ce qu'il dit à cet égard dans son mémoire présenté à l'Association britannique pour l'avancement des sciences dans sa session de 1860 :

« D'après l'opinion de Faraday, l'action inductive dans une bouteille de Leyde est communiquée de l'armature intérieure électrisée à l'armature extérieure, d'atome à atome à travers le corps isolant. Dans notre cas, la bouteille de Leyde est représentée par le câble dont l'armature interne est représentée par le fil conducteur et l'armature externe par l'eau. Les lois qui sont établies pour la propagation de la chaleur et de l'électricité dans les conducteurs peuvent par conséquent être appliquées à cette propagation par induction, laquelle peut être exprimée par la conductibilité multipliée par une constante variable, suivant la nature de la matière isolante.

« La résistance de l'enveloppe isolante d'un câble et la

conductibilité spécifique de la matière isolante pouvant être calculées au moyen de la relation [1]

$$W = \frac{C \log nat \frac{R}{r}}{2 \pi l \lambda}.$$

ainsi que je l'ai démontré dans un mémoire inséré dans les *Annales de Poggendorff*, de 1857, on pourra déterminer les capacités inductives au moyen de la formule

$$K = \frac{I C \cdot 2 \pi l}{\log nat \frac{R}{r}},$$

dans laquelle la capacité inductive I prend la place de la conductibilité spécifique λ de la formule précédente. C'est du reste la même formule que celle que le professeur Thomson a obtenue en partant d'un principe plus direct.

« Avec des câbles bien isolés, bien centrés, cette formule peut être réduite à

$$K = \frac{I \cdot C}{\log nat \frac{R}{r}}.$$

« Dans ces deux dernières formules, K représente la quantité d'électricité déterminée par l'expérience.

« Dans nos expériences, la capacité inductive est mesurée par la déviation de l'aiguille du galvanomètre. Si cette déviation est produite par un courant de courte durée, la quantité K d'électricité passant à travers le galvanomètre sera égale à

$$\frac{\sin \frac{A}{2}}{E},$$

1. Dans cette formule, W représente la résistance générale du câble déterminé par l'expérience; C une constante dépendante de la nature de l'isolant; l la longueur du câble; λ sa conductibilité spécifique; R et r les rayons de la section de la couche isolante.

A désignant la déviation de l'aiguille, E la force électromotrice de l'électro-moteur. Mais comme dans la pratique on trouve de la difficulté à lire des déviations instantanées, il vaut mieux avoir recours à un appareil qui, en produisant une succession rapide de courants, détermine une déviation continue de l'aiguille; la valeur de K est alors donnée par la formule

$$K = \frac{\sin A}{E} \cdot C,$$

C représentant le nombre de décharges.

« Si K est pris comme terme de comparaison, on aura pour une déviation A′ la proportion suivante :

$$K : K' :: \sin A : \sin A',$$

d'où

$$K = \frac{K' \sin A}{\sin A'} . »$$

Recherches de M. Guillemin. — Ces recherches ont été entreprises dans le but de savoir comment la condensation et par suite le retard dans la transmission des signaux télégraphiques varient avec l'épaisseur, la nature de la substance isolante et la longueur des conducteurs.

Les essais ont porté sur quatre câbles de 56 mètres de long présentant à l'intérieur un fil de cuivre de 1 millimètre de diamètre recouvert d'une enveloppe isolante de gutta-percha, dont l'épaisseur variait de 1 à 5 millimètres, puis sur un cinquième câble revêtu d'une couche isolante de caoutchouc non vulcanisé, de 2 millimètres d'épaisseur. L'armature extérieure était représentée par une lame d'étain qu'on avait liée avec un fil de cuivre, afin d'assurer sa continuité sur toute la longueur.

La question se scindait naturellement en deux parties, l'une concernant les effets de la condensation comparables à ceux qui ont lieu dans la bouteille de Leyde, l'autre relative

aux courants induits qui naissent sous l'influence des courants et qui sont analogues à ceux des bobines d'induction.

L'auteur a dû employer, à cause des faibles effets de la condensation sur une petite longueur de fil, l'appareil à décharges multiples dont il s'était servi en 1849 pour obtenir des courants à l'aide d'une pile isolée sans réunion des deux pôles, appareil d'ailleurs semblable à celui de M. Siemens, dont nous avons parlé précédemment.

Cet appareil est composé de quatre roues posées sur un même axe, présentant sur leur circonférence des parties métalliques et des plaques d'ivoire et reliées à la fois avec les deux pôles de la pile et les deux armatures du câble. Quand on imprime à ces roues un mouvement de rotation, il s'établit des communications intermittentes entre les pôles de la pile et les deux armatures, de telle manière que le condensateur peut se trouver chargé et déchargé cent ou cent vingt fois par seconde. Le galvanomètre destiné à mesurer ces charges et décharges peut être placé, soit sur les fils qui, mettant en contact les pôles de la pile avec les armatures, opèrent la charge, soit sur ceux qui, en réunissant les deux armatures, transmettent la décharge. La déviation est la même dans les deux cas, mais il vaut mieux l'interposer dans les fils de la décharge, pour la mesure de la condensation. Les lames métalliques qui effectuent la décharge ont une largeur triple de celles qui effectuent la charge. Les contacts durent environ 1/600 de seconde pour ces dernières et 1/200 de seconde pour les autres.

En restant dans les limites de 20° à 25° pour les déviations galvanométriques, et en faisant usage d'une pile de 12 à 36 éléments Bunsen, M. Guillemin a obtenu les résultats suivants :

1° Pour une même vitesse de rotation, la déviation est sensiblement proportionnelle au nombre des éléments ; mais on peut, sans la changer, faire varier leurs surfaces dans

des limites très-étendues. Ce fait confirme les idées primitives de Volta et d'Ohm sur la distribution des tensions dans la pile ;

2° Il suit de cette première proposition que la force condensante reste à peu près la même, quand on fait varier le nombre des éléments du simple au triple ;

3° Si l'on représente par 100 la force condensante du câble numéro 1, celles des numéros 2, 3, 4, 5[1] sont 84, 75, 67, 62. Les trois premiers nombres qui se rapportent à la gutta-percha montrent que la force condensante diminue à mesure que l'épaisseur de la couche isolante augmente, mais dans une proportion de moins en moins rapide. Le rapprochement des numéros 2 et 5, dont l'enveloppe isolante est de la même épaisseur, l'une de gutta-percha, l'autre de caoutchouc, donne le nombre 0,72 pour l'induction spécifique de la seconde substance par rapport à la première ;

4° Lorsqu'on prend la terre pour intermédiaire, tant pour charger que pour décharger le condensateur, le galvanomètre indique la même déviation que précédemment, quel que soit le conducteur sur lequel on le place ;

5° Le fil intérieur ne prend qu'une quantité d'électricité très-faible quand on supprime, pendant la charge, la communication de l'armature extérieure à la terre ; elle n'est pour le numéro 5 que la 45e partie, et pour le numéro 1 que la 65e partie environ de ce que prend chacun de ces câbles quand cette communication existe. Cette décharge est trois ou quatre fois plus faible que celle des mêmes fils isolés dans l'air. Cet effet paraît être dû à une certaine quantité d'électricité qui adhère à la surface de la substance isolante en contact avec le fil ;

1. L'épaisseur de la couche de gutta-percha était de 1 millimètre pour le câble n° 1 ; de 2 millim. pour le câble n° 2 ; de 3 millim. pour le câble n° 3 ; de 5 millim. pour le câble n° 4 et de 2 millim. pour le câble n° 5.

6° Si l'on compare la charge que prend chaque câble par l'effet de la condensation à celle du fil isolé dans l'air, on trouve pour les numéros 1, 2, 3, 4, 5 approximativement les rapports suivants, 18, 16, 14, 12, 11 ;

7° L'action inductive électro-statique exercée par le fil intérieur sur l'enveloppe d'étain est égale à celle que cette dernière exerce sur lui;

8° En plaçant les cinq câbles à la suite les uns des autres, de manière à n'en former qu'un seul d'une longueur quintuple, ou bien en les disposant parallèlement, les armatures semblables étant réunies, la condensation totale est égale à la somme des condensations de chacun des câbles pris isolément; ce qui fait présumer que les effets observés précédemment subsisteront pour des longueurs quelconques;

9° La charge dynamique que l'on obtient en faisant communiquer l'une des extrémités du fil intérieur à la terre est à peu près moitié de la charge statique que l'on a quand cette communication n'existe pas, si toutefois la force de propagation de la pile est très-grande ;

10° Les différences précédemment signalées, relatives à l'épaisseur et à la nature de la couche isolante, subsistent et se produisent dans le même sens, soit que la bobine contienne à l'intérieur une armature de fer qui augmente l'intensité du courant induit, soit qu'elle n'en contienne pas;

11° En ajoutant les câbles bout à bout, le courant induit n'augmente pas proportionnellement au nombre de câbles réunis; il tend au contraire vers une limite d'autant plus rapidement, que la tension de la pile est moindre;

12° Quand on réunit les câbles parallèlement les uns aux autres, le courant induit décroît et tend à devenir nul.

« On peut déduire de ces expériences, dit M. Guillemin, quelques indications pratiques. Le caoutchouc isole mieux et condense moins que la gutta-percha; à ce point de vue il doit être préféré dans la construction des câbles. On dimi-

nuera la condensation, et par suite le retard dans la transmission des signaux, en augmentant l'épaisseur de l'enveloppe isolante; la charge électrique sera au contraire plus grande, si l'on augmente le diamètre du fil conducteur. Dans un câble composé de plusieurs conducteurs isolés, les effets dus à la condensation (comparable à celle qui a lieu dans la bouteille de Leyde) sont très-intenses, et les courants d'induction (analogues à ceux des bobines) sont relativement très-faibles. Ces derniers sont évidemment nuls quand le câble ne contient qu'un seul conducteur isolé.

« La condensation électrique est-elle la seule cause qui contribue à ralentir, dans des proportions si considérables, la décharge des longs câbles sous-marins, ou bien ce phénomène serait-il compliqué d'un effet de propagation latérale, dans la paroi isolante du câble?

« Cette dernière question a été récemment soulevée par M. Alexandre. Pour la résoudre, il suffisait de comparer les câbles précédents à un fil de cuivre simplement recouvert de gutta-percha, isolé dans l'air, et de chercher comment varie, dans chaque cas, la quantité d'électricité que le fil peut céder après son contact avec la pile, à mesure qu'on augmente la durée de la décharge.

« J'ai fait l'expérience au magasin central, et j'ai reconnu: 1° que la charge électrique des câbles sous-marins pénètre effectivement en partie dans la substance isolante; 2° que lorsque après le passage du courant on met le fil conducteur en contact avec la terre, il se fait d'abord une décharge rapide, due à l'électricité qui est restée sur la surface du fil et dans les couches de la gutta-percha les plus rapprochées du conducteur métallique; mais que ce torrent électrique est suivi d'une décharge très-lente, provenant de l'électricité qui a pénétré plus profondément dans l'enveloppe isolante. »

Recherches de M. Gounelle. — Les moyens employés par M. Guillemin pour mesurer la puissance condensante des

câbles sous-marins exigeant pour l'expérimentation une longueur assez grande des échantillons, et de plus une grande constance, tant de la part de la pile que dans le nombre des décharges effectuées dans l'unité de temps pour les différents essais, M. Gounelle a recherché s'il n'y aurait pas moyen, par un procédé plus sensible et plus indépendant, de réduire considérablement la longueur des échantillons et de se mettre à l'abri des causes d'erreur qui pouvaient survenir. Il y est arrivé au moyen d'un système d'expérimentation aussi simple qu'ingénieux. Pour cela il opère sur deux échantillons à la fois en les chargeant et en les déchargeant en même temps, et en faisant passer les courants respectifs que produit chaque conducteur dans chacun des fils d'un galvanomètre différentiel. Il rend les charges égales dans les deux fils en raccourcissant successivement celui de ces deux fils qui offre la condensation la plus énergique, et comme la charge est proportionnelle à la longueur des fils, le rapport de ces longueurs doit donner celui de leur capacité de condensation. Pour la commodité de l'opération, M. Gounelle a comparé la capacité de condensation de chacun des câbles qu'il a expérimentés à celle d'un fil très-bien isolé construit de manière à pouvoir varier facilement de longueur dans la partie où s'opère la condensation.

Pour obtenir ce fil bien isolé de longueur variable, M. Gounelle le compose de toutes pièces en remplissant un tube de verre de métal fusible. Ce tube a un mètre de longueur et le métal n'occupe que la moitié de sa longueur. Il est d'ailleurs choisi d'un calibre convenable pour glisser facilement à l'intérieur d'un tube de métal de 50 centimètres de longueur, et des divisions en millimètres, tracées sur la partie du tube de verre, correspondante au métal, permettent de mesurer exactement la quantité dont on enfonce celui-ci dans le tube métallique. On obtient donc ainsi un véritable condensateur cylindrique dont on peut diminuer à volonté,

et dans une proportion connue, la surface des armures et qui ne donne d'induction que dans les portions qui sont superposées l'une sur l'autre. Avec cette disposition, M. Gounelle a pu employer sans inconvenient un galvanomètre très-sensible. De plus, en se servant de l'interrupteur que lui-même avait imaginé de concert avec M. Fizeau pour leurs expériences sur la vitesse de l'électricité, il pouvait obtenir un très-grand nombre de décharges par seconde, et alors la comparaison de fils de un mètre seulement de longueur devenait facile. En opérant de cette manière, il a trouvé les résultats suivants avec les fils expérimentés par M. Guillemin:

1 mètre du fil de gutta-percha.		n° 1 — 10	centimètres du fil étalon.	
Id.	*Id.* .	n° 2 — 15	—	—
1 mètre du fil de caontchouc...		n° 3 — 15	—	—
Id.	de gutta-percha.	n° 4 — 20	—	—
Id.	*Id.*	n°s 1 et 2 — 24	—	—
Id.	*Id.* .	n° 5 — 28	—	—

Le n° 1 de ces fils était recouvert d'une couche de gutta de.......................	5	millimètres.
Le n° 2, d'une couche de gutta de......	3	—
Le n° 3, d'une conche de caontchouc de.	2	—
Le n° 4, d'nne conche de gutta de......	2	—
Le n° 5, d'nne couche de gutta de......	1	—

« L'application des lois connues à la discussion de ces résultats, dit M. Gounelle, semble prouver que les courants de retour qui se manifestent dans les lignes sous-marines proviennent, pour la plus grande partie, de la condensation résultant de l'induction du fil sur le conducteur extérieur, et, pour une très-minime partie seulement, de la décharge lente de l'enveloppe isolante pénétrée d'électricité. Dans le cas où cette dernière entrerait pour la plus grande partie dans la production de ce phénomène, la durée du courant de retour devrait être approximativement la même, quelle que soit la longueur du fil. Son intensité seule devrait varier comme cette longueur. En outre, la durée de la charge qui aurait

produit une pénétration plus ou moins profonde devrait également influer sur la longueur de la décharge.

« Quant aux expériences faites par M. Guillemin, par lesquelles il a montré qu'un fil de quelques kilomètres de longueur étant chargé donnait encore de l'électricité au bout de 10 secondes, elles prouvent seulement la faculté conservatrice de l'enveloppe isolante, c'est-à-dire son pouvoir isolant. »

Les câbles sous-marins immergés recouverts d'une armature métallique sont-ils dans de plus mauvaises conditions, relativement à la propagation électrique, que des câbles également immergés dépourvus de cette armature? Cette question, étudiée par plusieurs savants, a été résolue d'une manière contradictoire. D'après M. Gounelle, l'effet serait exactement le même, mais suivant M. Marié Davy, au contraire, la présence de cette armature rendrait la transmission électrique 100 ou 130 fois plus lente!!! Ces chiffres nous paraissent dans tous les cas bien exagérés, car l'enveloppe liquide joue exactement le même rôle que l'enveloppe métallique, et en admettant qu'en raison de la différence de conductibilité des deux enveloppes l'action inductrice soit plus grande sur le métal que sur le liquide, l'effet de ralentissement de la transmission ne peut jamais être dans la proportion indiquée plus haut. M. Marié Davy fait, du reste, intervenir dans la propagation du courant le phénomène de *diffusion* électrique observé par MM. Fizeau et Gounelle, et qui fait que la tête d'une onde électrique marche plus vite que la queue. Mais ce phénomène existe-t-il réellement?... On pourrait en douter, car, suivant M. Gaugain, il ne serait qu'une conséquence de la propagation électrique pendant sa période variable. Quoi qu'il en soit, la durée de l'état variable est très-considérable dans les câbles sous-marins et peut atteindre jusqu'à un quart d'heure dans le câble d'Algérie, ainsi que cela résulte des expériences de M. Ducolombier.

Lois de la propagation électrique sur les câbles sous-marins.

Lorsqu'on envoie un courant positif sur un fil sous-marin, on observe à la station de départ, au moment de la fermeture du circuit, une forte déviation de l'aiguille du galvanomètre. Mais cette déviation ne persiste pas; elle diminue rapidement, et au bout de quelques instants, elle atteint un écart minimum qui reste sensiblement constant, et qu'on peut regarder comme représentant celui correspondant à l'intensité définitive ou à l'état permanent du courant. C'est, en un mot, celui qui serait fourni presque instantanément si le courant eût été envoyé à travers une ligne aérienne. On peut donc regarder que toute émission de courant sur une ligne sous-marine est accompagnée de deux effets qui s'ajoutent, l'un produit par le courant ordinaire de la pile, l'autre d'une durée passagère résultant d'une réaction propre aux circuits isolés et qui paraît n'être autre chose qu'un courant de charge.

D'après les expériences faites jusqu'à présent, il paraîtrait que cette charge des câbles sous-marins serait proportionnelle au sinus de la moitié de l'angle de l'écart primitif de l'aiguille; de telle sorte qu'en nommant Q, Q' les charges électriques de deux câbles, a et a' les écarts des deux aiguilles, on aurait la proportion :

$$Q : Q' :: \sin\frac{a}{2} : \sin\frac{a'}{2}.$$

De plus, pour deux câbles différents, mais formés de mêmes matières, on aurait entre les charges électriques la proportion :

$$Q : Q' :: \frac{n\,l}{\log\frac{r}{r}} : \frac{n'\,l'}{\log\frac{r'}{r'}},$$

n, n' étant le nombre d'éléments des piles, l et l' les lon-

gueurs des deux câbles, r, r' les rayons extérieurs des enveloppes de gutta-percha, ρ et ρ' les rayons des fils de cuivre. Pour deux câbles identiques dans lesquels $r = r'$, $\rho = \rho'$, la proportion précédente deviendrait donc :

$$Q : Q' :: nl : n'l'.$$

Enfin, t, t' représentant les intervalles de temps qu'il faut à une charge donnée pour apparaître à l'extrémité des deux câbles, on aurait :

$$t : t' :: \frac{l^2}{\rho^2 \log \frac{r}{\rho}} : \frac{l'^2}{\rho'^2 \log \frac{r'}{\rho'}}.$$

On peut, d'après ces formules, connaître la charge et le temps qu'il faut pour la propagation de l'électricité dans une ligne sous-marine, quand cette charge et ce temps de propagation sont connus pour un câble donné. Toutefois, ces calculs peuvent être dérangés par l'intervention d'une certaine réaction dont nous avons déjà parlé dans notre dernier volume, mais qui ne peut se présenter que sur des circuits très-longs. Cette réaction est *la formation d'ondes électriques successives de chargement dans le câble.*

Mais une chose très-particulière et fort curieuse, c'est que, quand on envoie des courants négatifs, leur intensité qui, à la station de départ, est beaucoup plus faible que celle des courants positifs, au lieu de diminuer à partir du moment de la fermeture du circuit, va en augmentant pendant quelque temps, jusqu'à ce quelle atteigne son état permanent. L'explication de ces effets n'a pas encore été donnée d'une manière satisfaisante : suivant les uns, ils proviendraient de l'infiltration de l'eau à travers les défauts de l'enveloppe isolante des câbles, laquelle infiltration serait empêchée ou favorisée suivant le sens du courant et d'après les lois de transport, déterminées par M. Wiedemann; suivant d'autres,

on devrait les attribuer à des dépôts d'oxydes métalliques qui se formeraient à travers ces défauts sous l'influence des courants positifs, et qui augmenteraient l'isolement du câble. Quant à moi, je crois qu'on doit les attribuer à des effets de décharges de petites à grandes surfaces, qui jouent un rôle si important dans tous les phénomènes électriques. Quoi qu'il en soit, l'influence de la résistance de la pile est encore plus marquée sur les câbles sous-marins que sur les lignes télégraphiques, et l'expérience a démontré que moins cette résistance est grande, plus la vitesse de la propagation électrique devient facile. Ce phénomène tient surtout à ce que la charge d'un câble s'opère d'autant plus vite que la tension électrique est plus grande, et que le flux électrique arrive au câble avec une tension d'autant plus grande que la résistance de la pile est moins grande.

Mesure de l'isolement des câbles sous-marins.

Avant d'immerger un câble et de l'accepter des mains des constructeurs, il est essentiel qu'on connaisse exactement le degré d'isolation de sa gaîne et le degré de conductibilité de son conducteur. On doit donc le soumettre à des expériences préventives, afin de vérifier si ses conditions d'isolement et de conductibilité ne dépassent pas les chiffres fixés comme limites de tolérance, et en même temps pour servir de points de repère pour des expériences ultérieures.

Pour arriver à ce résultat, on peut employer plusieurs méthodes d'expérimentation; mais celle qui a été employée pour l'essai du câble d'Algérie, par M. Siemens, paraît être celle qui donne les résultats les plus certains. Aussi ne parlerons-nous que de celle-là.

Un câble sous-marin devant être immergé à une profondeur toujours considérable et devant, en conséquence, subir une forte pression, on comprend facilement qu'un petit dé-

faut de l'isolateur qui, sous une très-faible pression peut être insignifiant, devient dangereux lorsque l'eau, par suite de sa compression, peut pénétrer au travers. C'est donc sous une pression considérable que l'isolement des câbles doit être essayé, et à cet effet, on les plonge par fractions de 3 knots[1] dans un grand cylindre en fer hermétiquement fermé et en communication avec une puissante machine de compression susceptible de fournir une pression de 600 livres par pouce carré, et comme la conductibilité de la gutta-percha augmente considérablement avec la chaleur[2], il faut avoir soin de maintenir l'eau à un degré de température élevé, 75° Fahrenheit environ.

Première méthode. — On fait communiquer l'une des extrémités du câble au pôle positif d'une forte pile dont l'autre pôle communique avec la terre ou le cylindre de fer dans lequel le câble est immergé. On interpose dans le circuit une boussole des sinus très-sensible, et on note la déviation. Maintenant, pour rapporter cette déviation au type pris comme unité de comparaison, il ne s'agit que de chercher la valeur de la résistance r capable de fournir l'intensité observée avec la pile employée, et de rapporter cette valeur à celle de l'unité de comparaison, placée dans les mêmes conditions.

Pour arriver à cette détermination, il suffit de considérer que les formules d'Ohm $I = \frac{nE}{nR + r}$ et $I = a \sin \rho$, donnent en négligeant nR qui s'efface devant r

$$a \sin \rho = \frac{nE}{r},$$

et pour une résistance r' et un nombre n' d'éléments :

1. Le knot vaut 1846 mètres.

2. Cette augmentation de conductibilité, d'après M. Siemens, varie entre 40 degrés Fahrenheit et 80 dans le rapport de 1 à 7.

$$a \sin \rho' = \frac{n' E}{r'},$$

d'où :

$$\frac{\sin \rho}{\sin \rho'} = \frac{n E r'}{n' E r}.$$

Or, si dans cette dernière formule on fait $r' = 1$ et $n' = 1$, on a :

$$\frac{\sin \rho}{\sin \rho'} = \frac{n}{r}, \qquad \text{d'où} \qquad r = \frac{\sin \rho'}{\sin \rho} \cdot n.$$

Dans cette formule, l'unité de résistance en fonction de laquelle r est ainsi exprimé, est la résistance qui, avec un seul élément de la pile, donnerait $\sin \rho'$. Or, c'est là ce que M. Siemens appelle la constante de l'instrument.

Si l est la longueur du câble essayé, la résistance de l'unité de longueur sera $r'l$, de sorte que la résistance totale de cette longueur L sera représentée par :

$$L = \frac{\sin \rho'}{\sin \rho} \times n l.$$

Cette formule suppose que la perte d'électricité est constante le long du conducteur ; ce qui n'est pas exactement vrai, puisque la tension, par suite de l'isolement imparfait, diminue à mesure qu'on s'éloigne de la pile. Mais pour les câbles bien isolés elle est sensiblement exacte.

La boussole dont M. Siemens a fait usage pour ses expériences présente une résistance de 7160 de ses unités [1], et les longueurs de câbles sur lesquelles on opérait étaient de 1 à 3 knots. La pile se composait d'ailleurs de 75 éléments.

Comme l'usage même de la boussole détermine dans l'aimantation des aiguilles et dans l'état du fil de cuivre cer-

1. Chacune de ces unités représente une résistance de 100 mètres de fil télégraphique de 4 millimètres de diamètre.

taines variations, on est obligé fréquemment de déterminer la valeur de la constante ρ', et pour cela, on dispose un circuit comme ci-dessous, dans lequel sont interposées :

1° Une pile de Daniell P;

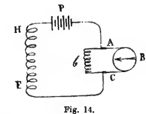


Fig. 14.

2° La boussole B;

3° Une résistance HF de 10,000 unités;

4° Une résistance *b* de $\frac{1}{100}$ de celle de la boussole, c'est-à dire de 72 unités.

La déviation observée sur la boussole représentera la valeur de ρ', à la condition qu'on prendra une unité 1,000,000 de fois plus grande que l'unité ordinaire. Voici alors comment la formule donnant la valeur de *r* se trouve modifiée.

Par suite du rapport très-petit qui existe entre les résistances *b* et B, l'intensité du courant en *b* est à très-peu près la même que dans le reste du circuit APHFC, et ces deux intensités sont à très-peu près les mêmes que si la dérivation B n'existait pas. Mais l'intensité i'' du courant qui passe en B est la centième partie de l'intensité i' du courant passant en APHFC. On peut donc poser d'un côté $i'' = a \sin \rho''$, et d'un autre côté, $i' = \frac{\varepsilon}{10000}$ (ε représentant la force électro-motrice de la pile P). Mais comme on a aussi $i' = 100\, i''$ ou $i' = 100\, a \sin \rho''$, on en déduit

$$100\, a \sin \rho'' = \frac{\iota}{10000} \quad \text{ou} \quad a \sin \rho'' = \frac{\iota}{10^6}.$$

Ayant, par suite d'une expérience faite sur un échantillon de câble, les éléments de l'équation $a \sin \rho = \frac{nE}{r}$, on a donc finalement :

$$\frac{\sin \rho''}{\sin \rho} = \frac{\iota}{10^6} : \frac{nE}{r},$$

et par suite :

$$r = \frac{\sin \rho''}{\sin \rho} \cdot n \cdot \frac{E}{\iota} \cdot 10^6,$$

ou simplement :

$$r = \frac{\sin \rho''}{\sin \rho} \cdot n \frac{E}{\iota}.$$

la valeur de r étant exprimée en millions d'unités.

Le rapport $\frac{E}{\varepsilon}$ est ce que M. Siemens appelle la constante de la pile. On le détermine de temps en temps, mais il varie peu et ne diffère guère de l'unité. C'est une simple correction qu'il entraîne dans dans l'usage de la formule :

$$r = \frac{\sin \rho'}{\sin \rho} \cdot n\, l.$$

Deuxième méthode. — La méthode précédente ne peut être appliquée, suivant M. Siemens, que pour mesurer de grandes résistances, peu différentes entre elles. Quand ces résistances varient entre des limites éloignées, comme cela arrive quand on passe successivement d'une petite longueur de câble à une grande, l'appareil rhéométrique devient beaucoup trop sensible, en raison de la diminution successive de la résistance de l'isolant (par suite de la plus grande surface qu'il

présente au liquide), et il devient nécessaire de corriger cette trop grande sensibilité, dans des conditions bien déterminées, afin de pouvoir en tenir compte plus tard dans les formules. Pour obtenir ce résultat, M. Siemens entoure le multiplicateur de sa boussole d'une hélice additionnelle n'ayant que peu de tours, mais disposée de manière à être parcourue par le courant d'une pile spéciale, d'une grande constance, dirigé en sens contraire de celui qui traverse le multiplicateur. De cette manière, ce dernier courant n'exerce plus sur l'aiguille de la boussole qu'une action différentielle, que l'on peut rendre plus ou moins grande, et même nulle, au moyen de bobines de résistance interposées dans le circuit de l'hélice additionnelle. Quand, après avoir essayé une longueur de câble, on veut en mesurer une nouvelle ajoutée à la première, on commence, avant d'introduire dans le circuit cette nouvelle partie, par équilibrer les deux courants, de manière à maintenir l'aiguille de la boussole à zéro. On introduit alors la partie du câble dont on veut mesurer la résistance dans le circuit du multiplicateur, et on ramène de nouveau l'aiguille de la boussole à zéro, par un moyen analogue à celui employé pour le galvanomètre différentiel, c'est-à-dire en augmentant convenablement la résistance du circuit de l'hélice extérieure. Connaissant la valeur de cette augmentation de résistance et le rapport d'action des deux hélices sur l'aiguille de la boussole, il est facile de déterminer la résistance de la nouvelle partie de câble interposée dans le circuit.

Supposons, en effet, que W représente la résistance du multiplicateur, W_1 une résistance connue introduite dans le circuit de ce multiplicateur, m le nombre d'éléments de la batterie du circuit traversant le câble, w la résistance de l'hélice extérieure, w_1 la résistance variable introduite dans le circuit de cette hélice, n le nombre d'éléments de la pile locale destinée à réagir sur cette hélice extérieure, enfin k

rapport des actions des deux hélices sur l'aiguille de la boussole, on aura :

$$\frac{n}{w + w_1} k = \frac{m}{W + W_1}, \quad \text{d'où} \quad k = \frac{m(w + w_1)}{n(W + W_1)}.$$

Si, au lieu de W_1 on introduit la résistance inconnue du câble et qu'on arrange convenablement les piles et w_1 pour que l'aiguille de la boussole reste à zéro, m deviendra M, n sera N et w_1 sera V, et l'on aura

$$\frac{M}{x + W} = \frac{N}{V + w} \cdot k, \quad \text{d'où} \quad x = \frac{M(V + w)}{N \cdot k} - W,$$

ou en substituant à k sa valeur

$$x = \frac{M\,n}{N\,m} \cdot \frac{W + W_1}{w + w_1} (V + w) - W.$$

En général, dans la pratique, les résistances des hélices w et W peuvent être négligées ; de sorte que la formule se réduit à

$$x = \frac{M}{N} \cdot \frac{V}{k}.$$

De cette manière, la valeur de k est indépendante de la sensibilité de l'aiguille et peut être déterminée une fois pour toutes.

Les courants positifs ayant été reconnus produire des effets différents de ceux déterminés par les courants négatifs, il était important de faire les expériences en mettant alternativement le câble essayé en contact avec les deux pôles de la pile, ou, pour nous servir de l'expression usitée en télégraphie, en envoyant alternativement des courants positifs et négatifs. Dans ce but, M. Siemens dispose l'expérience de la manière suivante :

P (fig. 15) est la pile ; M, N des plaques de cuivre munies

d'une échancrure et qu'on peut réunir directement au moyen d'une fiche de cuivre plantée entre elles dans les échancrures. Ba est la boussole des sinus, AC le câble essayé isolé

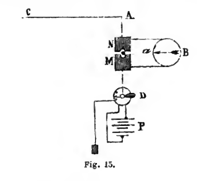


Fig. 15.

en C. Un premier système de commutateurs D permet de mettre en communication avec A l'un ou l'autre des pôles de la pile, en même temps que l'autre est mis en communication avec la terre ou le cylindre d'essai. Un second système de commutateurs permet de donner dans les deux cas le même sens au courant.

Pour faire une observation, on place d'abord la fiche de manière à réunir M, N, puis on établit la communication du câble avec la pile. Au bout de quelques secondes, quand le courant est devenu beaucoup moins fort, on retire la fiche, et la boussole donne la déviation ρ. Pour diminuer les oscillations de l'aiguille, on a soin de temps en temps de replacer la fiche.

M. Siemens a constaté que les courants positifs et les courants négatifs ne donnaient pas les mêmes nombres. Du reste, les tableaux qu'il a envoyés et qui résument toutes les expériences faites pour l'essai du câble de l'Algérie sont extrêmement curieux, et nous pourrons nous en occuper un jour avec plus de détails.

Il est encore une précaution que M. Siemens prend après l'immersion de ses tronçons de câble dans le cylindre à compression, et qui est destinée à faire échapper les bulles de gaz qui se seraient introduites dans le corps même de la gutta-percha; c'est de faire d'abord le vide au-dessus de l'eau jusqu'à ce que la pression de l'air ambiant n'ait plus que les $\frac{5}{6}$ de sa valeur primitive. On fait alors une première série d'expériences, et c'est après, qu'on substitue au vide la pression dont il a été question.

Quant aux expériences sur la mesure de la conductibilité de l'âme de cuivre des câbles, nous en parlerons plus tard, car elles ont été faites avec un appareil appelé *pont de Wheatstone,* dont nous n'avons pas encore parlé dans nos précédents volumes, et auquel nous consacrerons quelques pages dans le chapitre traitant des instruments d'expérimentation. Ces expériences n'ont d'ailleurs rien qui se rattache directement aux câbles sous-marins, quoiqu'elles soient nécessaires pour les essais, en raison de l'inégale conductibilité du cuivre du commerce, qui varie de 30 à 100.

Pour compléter son travail, M. Siemens a fait une série d'expériences au moyen desquelles il a voulu estimer la charge et la décharge des câbles. Ces expériences consistent à mettre le câble AC (fig. 16) en rapport avec une boussole B et une pile P, et à l'interrompre à un instant donné pour le mettre en communication avec la terre. La communication du câble avec E donne la charge, et la communication avec F la décharge. Les valeurs se déduisent ensuite de la formule [1]

$$q = \frac{\sin \frac{\psi}{2}}{\sin \varphi'} \cdot \frac{2029}{n\,l} \cdot 10^4 ;$$

1. Nous ne donnons pas les détails des calculs pour cette équation parce que cela nous entraînerait trop loin.

Il paraît qu'on peut reconnaître par ce moyen : 1° si l'âme d'un câble n'est pas exactement au centre de la gutta-percha, car la position du conducteur influe considérablement sur la faculté condensatrice de l'enveloppe sans influer sur la

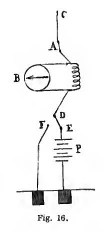


Fig. 16.

conductibilité de l'âme ni sur la résistance de la gaîne; 2° le point de rupture d'un câble [1].

Relations entre la quantité d'électricité perdue par l'effet de la conductibilité de la gutta-percha et la charge électrique des câbles.

M. du Colombier a publié dans les *Annales télégraphiques* (t. IV, p. 266) un très-important travail sur ce sujet, duquel il résulte :

1° Que la quantité d'électricité qui se perd à travers l'en-

1. Voir le *Mémoire* de MM. Siemens et Halcke communiqué à l'Association britannique pour l'avancement des sciences, en juillet 1860. — (Réunion d'Oxford.)

veloppe imparfaitement isolante d'un câble sous-marin supposé en bon état dépend des dimensions relatives de l'âme et de sa gaîne et de la force électro-motrice de la source employée ;

2° Que la résistance spécifique de la gutta-percha, du moins celle du câble d'Algérie, peut être représentée moyennement, en prenant pour unité la résistance du mercure, par $18{,}26 \times \overline{10}^{17}$;

3° Que dans le cas d'une force électro-motrice constante, pour donner lieu à la même perte, deux câbles doivent avoir les épaisseurs de leurs gaînes dans le même rapport que les diamètres de leurs conducteurs ;

4° Qu'au contraire, dans le cas où l'on s'arrange de manière à obtenir à l'extrémité des différents câbles une intensité de courant constante, *pour une même épaisseur de gaîne, la perte est d'autant plus petite que le diamètre du conducteur est plus grand ;* ce qui s'explique par la réduction que permet de faire dans la force électro-motrice l'augmentation de diamètre du conducteur.

M. du Colombier a calculé d'après ces principes trois tableaux à l'aide desquels on peut connaître : 1° quelle serait l'épaisseur à donner à la gaîne d'un câble d'une longueur donnée et dont le conducteur de cuivre aurait un diamètre connu, pour que la quantité d'électricité perdue en route fût une fraction donnée de celle qui arrive à l'extrémité ; 2° quelle serait, dans un câble d'une longueur donnée et dont l'âme et l'épaisseur de la gaîne seraient connues, la perte d'électricité produite, cette perte étant estimée par rapport à la quantité d'électricité arrivant à son extrémité ; 3° enfin, quelle serait la quantité d'électricité perdue le long d'un câble d'une longueur donnée, mis en rapport à son origine avec une force électro-motrice également donnée, quand le conducteur a un diamètre déterminé et la gaîne une épaisseur indiquée.

Moyens de reconnaître les points où se trouvent les défauts dans les câbles sous-marins immergés.

Quand on pose un câble sous-marin ou même quand il est posé et qu'il se déclare un défaut, ce dont on n'est pas averti instantanément, il importe qu'on puisse déterminer, du moins d'une manière très-rapprochée, le point où ce défaut existe. Voici la méthode employée par M. Siemens :

Soit c la résistance du câble, x et y celles des deux bouts du câble de chaque côté du défaut ; z la résistance du défaut lui-même ; a_i b_i les résistances observées aux deux bouts du câble, le premier bout étant isolé ; a et b les mêmes résistances, le second bout étant en communication avec le sol ; on aura d'après les lois d'Ohm les relations suivantes :

1° $$c = x + y,$$

2° $$a_1 = x + z,$$

3° $$b_1 = y + z,$$

4° $$a = x + \frac{zy}{z+y},$$

5° $$b = y + \frac{zx}{z+x};$$

Des équations (1) (2) (3) on déduit :

$$x = \frac{a_1 - b_1}{2} + \frac{c}{2},$$

et les équations (1) (4) (5) conduisent à l'expression :

$$x = a \cdot \frac{c-b}{a-b}\left(1 - \sqrt{\frac{b}{a} \cdot \frac{c-a}{c-b}}\right),$$

d'où :

$$\frac{x}{y} = \sqrt{\frac{a}{b} \cdot \frac{c-b}{c-a}},$$

Enfin des équations (1) (2) (4) on déduit cette autre expression :

$$x = a - \sqrt{(a_1 - a)(c - a)}.$$

Si le câble n'était pas parfaitement isolé avant que la faute ne fût découverte, les valeurs a et b donneraient le moyen de déterminer une résistance variable ν des premières couches. Cette résistance ν, avec celles des dernières couches a_2 b_2, pourrait indiquer la place du défaut à l'aide de la formule

$$x = a_1 - \nu \sqrt{\frac{a_1 - a_2}{b_1 - b_2}}.$$

Pendant toutes ces expériences, la force de la pile doit être maintenue constante, de façon que la polarisation reste la même au point où se trouve le défaut. On peut obtenir ce résultat en déterminant d'abord très-approximativement la place de ce défaut et en disposant la pile aux deux stations, de manière à envoyer à travers le défaut un courant d'égale force. Il faut avoir soin toutefois de ne relever les observations que quand la polarisation est arrivée à son maximum.

La dernière formule que nous venons de poser a l'avantage très-grand de permettre sur les vieux câbles défectueux, dont l'état d'isolement a été constaté, la détermination des points où se montrent de nouveaux défauts. Malheureusement, on ne peut profiter de cet avantage sur la plupart des câbles qui ont été immergés, parce qu'à l'époque de leur pose on ne se préoccupait guère de les expérimenter : mais les nouveaux câbles, tels que ceux d'Algérie, de Corse, d'Alexandrie, de Rangoon à Singapoore, pourront en bénéficier.

Isolateurs des câbles sous-marins.

Les conditions essentielles que doivent présenter les isolateurs des câbles sous-marins pour fournir des résultats avantageux sont la ductibilité, l'imperméabilité, l'inaltérabilité, un pouvoir isolant très-marqué et un pouvoir condensant le

plus faible possible. On avait cru longtemps que la gutta-percha les possédait toutes; mais les nombreux cas d'insuccès qu'ont présentés les lignes sous-marines ont fini par démontrer les inconvénients de cette substance qui, comme tout le monde le sait, se décompose en terre, se durcit et gerce en plein air, se ramollit à une faible température, au point de permettre le déplacement du fil qu'elle recouvre, et dont la structure fibreuse nę présente pas, suivant certains ingénieurs anglais, toutes les garanties d'imperméabilité désirables. Nous avons vu d'ailleurs que sous les rapports de l'isolation et de la condensation, elle était inférieure au caoutchouc; mais un des inconvéniens les plus grands pour sa durée est son affinité pour l'oxygène, qui lui fait perdre encore ses propriétés isolantes. Suivant M. O Shaugnessy, directeur des lignes télégraphiques aux Indes, la gutta-percha étant composée, dans son état naturel, de 88 parties de carbone sur 12 d'hydrogène, serait constituée, après quelque temps de séjour sur les fils télégraphiques et après avoir été exposée à l'action de l'air, de deux substances contenant, l'une 63,80 parties de carbone, de 9,20 d'hydrogène, de 27,00 d'oxygène; l'autre, de 67,20 parties de carbone, de 10,20 d'hydrogène et de 22,60 d'oxygène. Or, ces substances ne sont pas du tout isolantes.

Ces inconvénients ont fait, dans ces derniers temps, rechercher le caoutchouc, qui isole mieux et condense moins l'électricité que la gutta-percha. MM. Siemens, à Berlin, et West, en Angleterre, ont établi à cet effet des appareils au moyen desquels ils ont pu recouvrir facilement de longs fils avec cette substance. Le problème était assez difficile, car le caoutchouc, à l'état naturel, ne se fond pas sans se décomposer, et cette substance ne présente d'avantages marqués que quand elle n'a pas été dissoute dans la benzine, comme le sont presque tous les caoutchoucs qu'on vend aujourd'hui dans le commerce sous le nom de caoutchoucs purifiés. Quoi

qu'il en soit, les ingénieurs dont je viens de parler, profitant de la faculté que possèdent deux fragments de cette substance de se coller lorsqu'on met en contact deux tranches venant d'être coupées, sont parvenus, en enroulant en spirale des lanières étroites de cette substance, à résoudre complétement le problème, non-seulement avec de gros fils, mais même avec les fils les plus fins.

Toutefois, ce système devait avoir aussi de graves inconvénients. Le caoutchouc, à ce qu'il paraîtrait, gonfle dans l'eau et ne peut jamais être adhérent au conducteur. Le cuivre, d'ailleurs, réagit quelquefois sur cette substance comme réducteur, et il arrive souvent qu'au bout d'un certain temps celle-ci tombe en déliquescence en commençant par le centre, c'est-à-dire par la partie en contact avec le cuivre [1]. Il paraît que cet effet n'existe pas avec le fer. Si cela était, l'emploi du caoutchouc aurait évidemment de grands avantages, non-seulement pour les câbles sous-marins, mais encore pour les fils de communication exposés à l'air ou à l'humidité. Il faudrait seulement que ces conducteurs fussent plus gros en raison de la moins bonne conductibilité du fer. Dans tous les cas, on pourrait employer le caoutchouc par couches alternées avec la gutta-percha en ayant soin que celle immédiatement en contact avec le cuivre ne fût pas de caoutchouc. De cette manière, on réunirait les avantages des deux substances isolatrices et on en écarterait les défauts.

Quoi qu'il en soit, on a peut-être un peu exagéré les in-

1. Les défenseurs du caoutchouc prétendent que ce phénomène n'a lieu qu'avec le caoutchouc mastiqué, et que la gomme-vierge du Para est complétement inoffensive; ils ont dit aussi que l'altération est locale et ne se produit qu'aux extrémités, quand le cuivre et la substance isolante sont simultanément en présence de l'air; quelques fabricants ont même voulu voir dans ce défaut une qualité, prétendant que par leur réaction réciproque le cuivre et le caoutchouc s'unissent intimement au profit de la solidité et de l'isolement du câble.

convénients de la gutta-percha, du moins pour son emploi dans les câbles sous-marins. L'expérience, en effet, a généralement démontré que cette substance n'était pas altérée par l'eau de mer, que même elle pouvait être améliorée. Ainsi, une partie du câble transatlantique retrouvée sur la côte de Terre-Neuve ayant été soumise aux épreuves électriques a montré qu'elle était dans des conditions d'isolation meilleures qu'au moment de sa fabrication, c'est-à-dire que 2 ans et demi avant. Ce fait a encore été confirmé par les ingénieurs chargés de la ligne entre Falmouth et Gibraltar. Cet effet tient sans doute à ce que les pores de cette substance se sont trouvés bouchés sous l'influence de l'énorme pression subie par le câble au fond de la mer. On a en effet reconnu que sous une pression liquide considérable la gutta-percha, au lieu de laisser filtrer l'eau à travers ses pores, comme on l'avait cru un moment lors de l'insuccès du télégraphe transatlantique, acquiert une augmentation de résistance électrique qui peut aller jusqu'à 15 pour 100.

Du reste, depuis que le câble de Douvres à Calais a été posé, de très-grands perfectionnements ont été apportés dans la purification et la fabrication de la gutta-percha pour l'isolement des fils télégraphiques. Cette matière plastique est maintenant étendue sur le toron de fils de cuivre en différentes couches ou enveloppes, sans qu'il y ait aucune suture ni joint. Les améliorations réalisées, même depuis 1857, dans la fabrication des fils isolés par la gutta-percha, montrent une perfection d'isolement qu'autrefois on regardait comme entièrement impossible.

On a essayé, dans ces derniers temps, diverses compositions isolantes qui ont plus ou moins bien réussi; telles sont le *chatterton composition*, la *mixture de Wray*, l'*isolateur de Hughes*, les *mélanges de Johnson de Bingham*, etc. De ces divers isolateurs, ce sont les deux premiers qui ont fourni les meilleurs résultats. Le premier a été employé concurrem-

ment avec la gutta-percha pour les câbles de l'Algérie, de Corse, de Singapoore à Rangoon et d'Alexandrie. Suivant M. Siemens, ces câbles ont un isolement dix fois meilleur (même avant la pose) que celui des câbles des Indes et de la mer Rouge, construits seulement avec de la gutta-percha. Cette matière isolante contient de la gutta-percha mélangée avec du goudron de bois et de la résine en proportion convenable pour donner à la matière une certaine fluidité. Elle durcit à froid; mais une faible élévation de température suffit pour la rendre fluide. Elle s'applique à chaud par couches minces entre les couches successives de gutta-percha. Son mode d'action paraît être de pénétrer les pores de la gutta-percha et de la rendre imperméable à l'eau.

Le mélange de Wray contient deux parties ou deux parties et demie de caoutchouc, une demie de résine, une de silice ou d'alumine en poudre et environ un neuvième de gutta-percha. Le silice diminue l'isolement, mais augmente notablement la solidité de la matière. « La composition Wray, dit M. Blerzy [1], est en quelque sorte un verre de caoutchouc. Veut-on que le câble soit bien isolé; on diminue la proportion de silice. Le veut-on très-solide; on augmente cette matière. M. Wray a eu surtout en vue de produire un isolateur résistant, difficilement fusible, et tel que par une légère élévation de température le fil ne devienne pas excentrique dans la gaîne, ainsi que cela arrive avec la gutta-percha. Malheureusement, ce composé est détruit par l'eau de mer et ne peut être employé à la surface des câbles. »

Le composé de M. Hughes est encore un secret; c'est une substance semi-fluide que l'on doit interposer entre les diverses couches de gutta-percha, et qui s'infiltre d'elle-même dans les trous, les fentes et les pores de la matière isolante, de telle manière qu'une perte se serait à peine déclarée

1. Voir *Annales télégraphiques*, t. IV, p. 585.

qu'elle serait déjà réparée. Cette substance est d'un prix inférieur à celui de la gutta-percha et paraît être obtenue par la distillation de schistes bitumeux.

Voici comment M. Wheatstone rend compte des différentes propriétés des isolateurs précédents au point de vue de la condensation et de la conductibilité :

« Le caoutchouc surpasse toutes les autres substances isolantes sous le rapport de la faiblesse d'induction et de la perfection de l'isolement. En ce qui concerne l'induction, une couche de caoutchouc vaut bien une couche de gutta-percha ordinaire d'une épaisseur double ; en ce qui concerne l'isolement, sa supériorité est encore plus grande.

« Deux autres substances, le composé de Wray et la gutta-percha purifiée se rapprochent beaucoup du caoutchouc, à l'un et l'autre point de vue.

« L'interposition d'un isolateur visqueux, comme celui de M. Hughes, entre deux couches de gutta-percha, ne diminue pas l'induction et n'améliore pas l'isolement. Si le composé Hughes a quelque avantage, c'est de remplir les soufflures et les piqûres de la gutta-percha.

« Généralement, plus un isolateur est parfait, et moins est grand son pouvoir inducteur. Cette règle souffre des exceptions ; mais les expériences d'isolement sont affectées par tant de causes diverses que nous ne pouvons en conclure l'entière indépendance des deux propriétés. »

L'isolateur de M. Johnson de Londres se rapproche beaucoup de celui de Wray ; il est formé de caoutchouc, de soufre et de silice en poudre fine. Cette matière est préparée en broyant environ 20 parties de caoutchouc et 5 de soufre dont on forme une pâte, suivant le procédé ordinaire de fabrication du caoutchouc vulcanisé. On mélange avec ce composé 75 parties de silice pure en poudre fine, ou du verre pilé ou toute autre matière non conductrice de l'électricité.

Le composé ainsi préparé est prêt à subir la vulcanisation

qui s'exécute à la manière ordinaire, le degré de chaleur étant tel qu'il donne à la matière une flexibilité suffisante pour être appliquée sur le fil télégraphique.

La pesanteur de cette matière est d'environ 1,6, elle ne se ramollit qu'à la température de 300 degrés Fahrenheit, et elle est, suivant l'auteur, plus flexible que la gutta-percha. Le composé doit être appliqué sur le fil conducteur, soit en tirant, soit en forçant ce dernier à travers des ouvertures convenables, soit en entourant le fil de bandes en forme de spirale, soit en le pressant à travers des cylindres cannelés. On peut supprimer le soufre et l'on forme un composé isolant formé de 25 parties de caoutchouc et de 75 de silice, proportion qu'on peut faire varier pour modifier la flexibilité ou la pesanteur spécifique de la masse.

La composition de M. Bingham, est faite avec du caoutchouc, de la gomme laque, du goudron et du liége en poudre ou de la sciure de bois. Suivant l'auteur, cet enduit se solidifierait en se refroidissant, et on pourrait l'appliquer sur le bâtiment même, à mesure qu'on immerge le fil.

Enfin, il y a encore une foule d'autres mélanges isolants parmi lesquels nous citerons ceux de MM. Silver, Siemens, Hall et Wells, Radcliff, Godefroy, etc., etc.

Nous donnons ci-dessous les chiffres représentant l'induction spécifique de ces différents isolants, ainsi que la charge qu'ils peuvent prendre et leur résistance spécifique. Ces chiffres ont été calculés par M. Siemens à des températures de 51°, 72° et 92° Fahrenheit. Mais nous n'avons donné dans le premier tableau que ceux qui se rapportent à la température de 51°; car les variations sont peu considérables, et ne dépassent guère un ou deux centièmes quand la température passe de 51° à 72°. Toutefois, nous devons dire que, dans ce premier tableau comme dans le second, l'élévation de la température a pour effet d'augmenter toutes les valeurs.

TABLEAU DE L'INDUCTION SPÉCIFIQUE

DES DIVERSES SUBSTANCES ISOLATRICES, D'APRÈS M. SIEMENS.

Matières isolantes.	R	r	Induction spécifique.	Charges.
Gutta-percha..................	16	4	1,06	9,92
....	14	2	1,07	7,14
....	8	2	1,00	9,30
....	7	1	0,99	6,58
....	4	1	0,99	9,18
Isolant de Wray............	6	2	1,24	13,00
....	7	1	0,77	5,17
Isolant de Silver (caoutchouc)..	6,2	1	0,67	4,80
....	7,2	1	0,66	4,45
Isolant de Hall et Wells.......	4	1	1,21	11,3
Isolant de Hughes...........	6	1	0,83	5,66
Id. à plusieurs couches........	7	1	1,00	6,61
Gutta-percha spéciale..........	4	1	0,74	7,23
Isolant de Radcliff............	7	1	1,09	7,23
Isolant de Godefroy...........	4	1	1,08	10,18

R représente le rayon extérieur de l'enveloppe isolante, r celui du fil conducteur. — Les chiffres de l'induction spécifique sont estimés en fonction de la plus petite induction spécifique de la gutta-percha prise pour unité, et sont obtenus à l'aide de la formule

$$\frac{\log. n. \frac{R}{r}}{2\pi l}.$$

Enfin les charges électriques fournies par la boussole sont réduites à un seul élément et à l'unité de mesure; elles représentent $\frac{\sin \rho}{n l}$.

TABLEAU DES RÉSISTANCES SPÉCIFIQUES

DES DIVERSES SUBSTANCES ISOLATRICES, D'APRÈS M. SIEMENS.

Matières isolantes.	R	r	32° Fahr.	52° Fahr.	72° Fahr.	92° Fahr.
Gutta-percha..............	13	1	....	0,916	0,500	0,325
....	»	»	....	1,45	0,637	0,368
....	7	1	4,40	2,63	0,969	0,407
....	4	1	....	....	0,850	0,221
....	8	2	....	1,89	0,538	0,264
....	10	4	....	1,09	0,996	0,393
....	»	»	....	2,23	1,030	0,447
Isolant de Silver...........	7,2	1	....	48,90	41,300	31,000
....	6,2	1	....	52,40	49,000	24,300
Isolant de Wray...........	7	1	....	23,60	26,000	38,400
— — Siemens	4	1	....	38,40	49,550	38,400
Gutta-percha spéciale......	4	1	....	2,25	8,250	....
....	4	1	....	9,44	4,860	8,380
....	7	1	....	22,90	....	1,550
Isolant de Hughes.........	6	1	....	1,05	0,153	0,191
Id. à plusieurs couches.....	7	1	....	7,86	3,980	0,696
Isolant de Hall et Wells ...	4	1	....	....	....	....
....	»	1	....	....	5,530	3,110
Isolant de Radcliff.........	7	1	....	....	0,041	0,057
....	»	»	....	0,48	0,350	9,642
Isolant de Godefroy........	»	»	....	....	0,496	0,432

Les différents chiffres qui figurent dans les 3e, 4e, 5e et 6e colonnes de ce tableau se rapportent aux résistances prises à 32, 52, 72, 92 degrés Fahrenheit de température du milieu ambiant; ils ont été fournis par la première méthode de détermination décrite page 154, et sont estimés en trions d'unités Siemens. Les anomalies que peuvent présenter ces chiffres doivent être attribuées à l'affaiblissement des batteries voltaïques et à l'insuffisance du temps accordé à la chaleur pour pénétrer les différentes parties du câble.

La glu marine est encore une substance qui, dans cer-

taines circonstances, présente des résultats très-avantageux. Mais comme elle est très-chère, qu'elle ne peut être déposée, en raison de sa nature très-liquide, que par couches très-minces et sur des enveloppes de coton, elle ne peut être employée pour les câbles sous-marins. Toutefois pour les fils exposés à l'air et craignant l'humidité, elle peut être très-utile. Il en est de même des fils qu'on construit actuellement avec le vernis qu'on emploie pour faire les visières des casquettes. M. Breguet, qui se sert de fils ainsi isolés, en est très-satisfait. Malheureusement ces fils sont d'un prix très-élevé.

Conditions d'établissement des câbles sous-marins.

Messieurs P. Breton et Beau de Rochas ont entrepris sur cette question un long travail théorique inséré dans les *Annales télégraphiques* (t. II, p. 445), d'où il résulte :

1° Que les câbles sous-marins doivent être *isolés et armés* dans les petites profondeurs, *isolés, allégés* et *non armés* dans les grandes ;

2° Que dans l'un et l'autre cas ils doivent être posés sous une *tension extrême constante*, mesurée continuellement à l'endroit où le fil en cours de pose plonge dans la mer ;

3° Que cette tension extrême dépend du *module* du câble, c'est-à-dire de la longueur de ce câble, dont le poids dans l'eau serait égal à la tension-limite qu'il ne peut supporter sans danger ;

4° Que la limite de profondeur dans laquelle un câble peut être posé *ne doit pas dépasser les deux cinquièmes du module ;*

5° Qu'en raison de la suppression de l'armature, le conducteur des câbles télégraphiques devrait être en fer.

En raisonnant d'après ces données, MM. Breton et Beau de Rochas trouvent que les câbles tels qu'on les construit aujourd'hui, c'est-à-dire avec des armatures en fer, sont

dans de très-mauvaises conditions, attendu que leur module étant, d'après des expériences faites par eux, représenté par 146 mètres, la plus grande profondeur à laquelle on puisse théoriquement les immerger ne devrait pas dépasser 58 mètres et demi. De pareils câbles, immergés à des profondeurs plus grandes, doivent donc le plus souvent se rompre. De là la nécessité admise par ces messieurs de n'employer pour les grandes profondeurs d'eau que des câbles très-légers.

Mais M. Gounelle fait observer avec beaucoup de justesse que cette conclusion, si contraire à l'expérience acquise, tient à une fausse appréciation de la résistance des câbles armés et à une détermination inexacte de leur module. En effet, MM. Breton et Beau de Rochas, considérant que la tension exercée sur l'armature d'un câble ne doit avoir d'autre effet que de tendre à en redresser les torons, et par suite à allonger le câble, croient que tout l'effort de la tension est supporté par la partie centrale, et en conséquence ne regardent l'armature que comme un poids nuisible diminuant la valeur du module. De là la petitesse de ce module. Mais il est facile de voir que cette interprétation n'est pas exacte, car cet allongement du pas de l'hélice constituée par les torons de fer ne peut se faire que par un glissement des fils les uns sur les autres et par leur déplacement sur la surface de la partie enveloppée. Or, les spires étant jointives, les fils s'arc-boutent, et par suite la diminution de l'espace enveloppé exigée pour l'allongement du pas des hélices ne peut avoir lieu. « L'expérience d'ailleurs, dit M. Gounelle, a confirmé cette appréciation du mode de résistance des câbles. Dans un essai fait à Cherbourg, un câble avec âme de cuivre pesant 650 grammes par mètre ne s'est rompu que sous une tension de 4 tonnes et demie ; pour 4 tonnes, l'allongement était de 4 millimètres 1/2, et le câble dégagé de son armature a pu s'allonger de 5 centi-

mètres par mètre sans se rompre; quant à sa résistance, elle ne dépassait pas 200 kilogrammes. L'armature seule a donc offert une résistance d'au moins 4 tonnes. En formant une coque avec le même câble, il s'est rompu à la tension de 670 kilogr. seulement. Mais alors l'armature seule s'est rompue et la partie intérieure s'est allongée en conservant l'isolement du conducteur en cuivre. »

M. Gounelle ne voit pas, d'ailleurs, comment on pourrait appliquer à un câble des matières allégeantes, la gutta-percha et le caoutchouc ayant à peu près la densité de l'eau, et le suif ne pouvant pas être raisonnablement employé. Il croit d'un autre côté que le système de pose sous une tension extrême serait bien difficile à obtenir à cause des mouvements de tangage du navire, et aurait l'inconvénient, dans certains cas, de tenir le câble suspendu au fond de la mer entre deux points d'appui, position qui l'exposerait à être soumis d'une manière fâcheuse aux courants sous-marins et à tous les mouvements de l'eau dans laquelle il plongerait.

Quant au projet de remplacer l'âme en cuivre par une âme en fer, M. Gounelle pense qu'il serait nécessaire qu'on pût faire à ce sujet des expériences, car il faudrait probablement une enveloppe de gutta-percha trop épaisse et par suite trop dispendieuse pour obtenir la même vitesse de propagation qu'avec le cuivre.

Enfin, tout en admettant qu'il serait nécessaire dans certains cas, mais pour des profondeurs exceptionnelles, d'augmenter le module des câbles, M. Gounelle croit que cette augmentation devrait être très-restreinte, attendu que l'action des courants et des vagues sur des câbles légers d'un fort volume pourrait présenter des inconvénients graves pendant la pose. Il rappelle en effet qu'un câble armé ordinaire a été maintenu à la surface de l'eau sur une longueur de près de 300 mètres dans le goulet de Brest, où le courant de marée atteint 8 nœuds à l'heure.

On voit, d'après ces objections de M. Gounelle, que ce n'est pas la théorie qui résoudra la question si complexe et si difficile de la télégraphie sous-marine. Pourtant il faut convenir que, si l'on trouvait un moyen de rendre les câbles légers et solides en même temps, la solution du problème aurait considérablement avancé. Cette solution serait-elle réalisée dans le système de câble proposé par M. Dunkan, dans lequel l'armature en fer est remplacée par une armature faite avec des tiges de rotin? C'est ce que nous verrons plus tard. Toujours est-il que le rotin a une résistance relativement très-considérable, ne s'altère pas dans l'eau et paraît avoir une grande durée. On sait que les Chinois s'en servent, de temps immémorial, pour en faire des cordes de sondage pour leurs puits artésiens, et des câbles pour leurs jonques.

MM. Breton et Beau de Rochas ont fait aux sages objections de M. Gounelle une longue réponse, mais sans alléguer aucune bonne raison à l'appui de leur dire; c'est plutôt un ergotage de mauvais goût qu'une discussion sérieuse, et M. Gounelle n'a pas eu de peine à leur riposter victorieusement. Aussi ne rappelons-nous cette réponse[1] que pour protester contre les termes dans lesquels elle a été conçue, et qui montrent que si ces messieurs connaissent leur art d'ingénieur, ils sont bien peu au courant des effets électriques.

M. César Lair, de son côté, a cherché les meilleures conditions pour la pose des câbles, et il est arrivé à conclure que ceux-ci devaient être déroulés sous une tension proportionnelle à la profondeur à laquelle ils devaient être immergés. Pour y arriver, il a imaginé un système de frein commandé automatiquement par un levier à l'extrémité duquel est suspendu le câble, et qui exerce, par l'intermédiaire de ce levier, un effet proportionnel à la profondeur d'eau.

1. Voir les *Annales télégraphiques*, tome III, p. 636.

M. Airy, astronome de l'Observatoire de Greenwich, a fait aussi sur les conditions mécaniques de l'immersion d'un câble sous-marin un travail mathématique fort important que nous regrettons beaucoup de ne pouvoir reproduire ici [1], et dans lequel il traite la question particulièrement au point de vue de la tension des différentes parties d'un câble pendant son déroulement.

Il démontre, entre autres résultats curieux, 1° que si le fond de la mer est horizontal, que le vaisseau se meuve et émette le câble avec une vitesse uniforme, la forme de la courbe voyageuse décrite par le câble est exactement celle de la chaînette ordinaire, et que la tension, en chaque point, est exactement la même qu'au point correspondant d'une chaînette fixe semblable, augmentée seulement d'une constante absolue, laquelle dépend uniquement de la vitesse avec laquelle la courbe se meut.

2° Qu'en tenant compte de la résistance due au frottement, la courbe ressemble, dans sa partie inférieure, à un arc de cercle ou à la partie inférieure d'une chaînette ordinaire; mais au lieu de tendre à la verticale dans sa partie supérieure, elle se rapproche d'une asymptote faisant avec l'horizon un angle qui peut être très-petit si la vitesse du vaisseau dépasse de beaucoup la vitesse de chute du câble.

Nouveaux systèmes de câbles sous-marins [2].

La question de la préférence à donner aux câbles lourds ou aux câbles légers étant toujours pendante et n'ayant pas encore été tranchée d'une manière définitive en faveur de l'un ou de l'autre des deux systèmes, il en résulte que les systèmes nouveaux qui ont été présentés depuis la publication

1. Voir les *Annales télégraphiques*, tome III, p. 473.
2. Voir la disposition des principaux câbles immergés, dans les *Annales télégraphiques*, tome III, p. 293.

de notre dernier volume appartiennent à l'un et à l'autre de ces systèmes. Il est cependant résulté des différents essais qui ont été faits : 1° que les câbles ne doivent jamais contenir qu'un seul conducteur; 2° qu'ils doivent être le plus légers possible tout en présentant le plus de solidité possible ; 3° que le fil conducteur doit être composé de plusieurs fils réunis en faisceau; 4° que l'enveloppe protectrice doit être mise à l'abri des réactions chimiques qui pourraient résulter de son contact avec l'eau de mer et certains terrains. Les derniers essais que l'on a tentés pour relever le câble transatlantique prouvent en effet que les parties de l'enveloppe métallique non recouvertes ont été détruites, tandis que d'autres recouvertes avaient résisté.

Nouveau câble d'Algérie. — Ce câble a été disposé de manière à répondre aux différentes conditions que nous venons d'énumérer. En voici la description qu'a publiée M. du Colombier dans les *Annales télégraphiques*, tome IV :

« Le câble des grandes profondeurs est composé comme on le voit dans la fig. 17 :



Fig. 17.

1° D'un conducteur formé d'un faisceau de sept fils de cuivre, fins, tordus, ayant ensemble un diamètre d'à peu près 2 millimètres;

2° De quatre enveloppes de gutta-percha et de quatre couches de *Chatterton composition*, formant avec le fil conducteur un diamètre de 9 millimètres 1/4 ;

3° D'un revêtement composé de filin goudronné;

4° D'une armature extérieure composée de dix fils d'acier de 2 millimètres de diamètre, garnis de chanvre goudronné.

« Le diamètre total du câble est d'environ 22 millimètres.

« Son poids par kilomètre est :

1° Dans l'air, de 620^k,036 ;

2° Dans l'eau, de 308^k,895.

« Le câble est à la fois très-souple et très-résistant. Sa ténacité est telle que, plongé dans l'eau, il ne peut se rompre que sous le poids d'une longueur de câble égale à 18 kilom. et demi (la plus grande profondeur de la Méditerranée sur le trajet de ce câble est de 2,900 mètres).

« Voici, en kilogrammes, le poids des différents matériaux qui entrent dans la formation d'un kilomètre de ce câble :

Cuivre..................................	27^k,107
Gutta-percha............................	54^k,946
Filin goudronné entourant la gutta-percha..	52^k,992
Chanvre entourant les fils d'acier..........	179^k,247
Dix fils d'acier...........................	305^k,744
Total.....	620^k,036

« Le câble pour les abords des côtes ne diffère du câble du milieu que par le revêtement, qui est composé de dix fils de fer nus d'un fort diamètre.

« Pour des profondeurs de moins de 80 mètres, il pèse 5,000 kilogrammes par kilomètre; pour les profondeurs de 80 à 200 mètres, il pèse au moins 1,500 kilogrammes.

« Le diamètre du conducteur étant de 2 millimètres, sa section est de 3^{mm}14.

« Par suite de la conductibilité spécifique du cuivre, ce conducteur équivaut à un fil de fer de plus de 4 millimètres de diamètre.

« Pendant toute la durée de la fabrication, on a fait sur les différentes parties du câble un très-grand nombre d'expé-

riences d'une précision toute scientifique, dans le but de mesurer la conductibilité, et l'isolement tant de ces différentes parties que de l'ensemble.

« En prenant pour unité de résistance la résistance d'un cylindre de mercure de 1 mètre de long et de 1 millimètre carré de section, on a trouvé en moyenne pour la résistance par mille (de 1852 mètres) :

1° 13,13 pour l'âme en cuivre;

2° 240,000,000 pour la gaîne en gutta-percha.

« D'Alger à Mahon, le câble a à peu près 240 milles de longueur. Dans ces circonstances, la résistance du conducteur est de 3151 unités, et celle de l'enveloppe isolante de 100000 unités. Il résulte de ces nombres que le rapport entre l'intensité du courant à l'extrémité de la ligne et l'intensité de ce même courant à l'origine, auprès de la pile, est de 0,9984. En d'autres termes, la perte de cette force est de 0,16 pour 100.

« Pour une longueur de câble de 550 milles, ce qui est à peu près la distance d'Alger à Toulon, cette même perte serait de 0,82 pour 100. On voit que dans ce modèle de câble la perte est tout à fait insignifiante, même pour de grandes distances. En supposant le câble en bon état, on ne doit donc avoir égard, pour la force des piles à employer, qu'à la résistance du conducteur.

« Effectivement, entre Alger et Mahon, huit éléments nous suffisent pour travailler facilement à toute vitesse. Mais nous devons informer nos lecteurs qu'on fait usage d'un relais (le relais Siemens) et d'une série de courants alternativement positifs et négatifs. Outre le câble, se trouve dans le circuit une ligne aérienne de 11 kilomètres, entre la ville de Mahon et le point d'atterrissement. Le câble est protégé contre les atteintes possibles de la foudre par deux paratonnerres à pointes et deux paratonnerres à fil préservateur. Deux autres paratonnerres, placés à l'autre extrémité de la ligne aérienne,

dans le bureau de Mahon, contribueraient, en cas de besoin, à faciliter la décharge du fil aérien, et par conséquent à préserver le câble en même temps que les appareils de la station. »

Le nouveau câble qu'on vient d'immerger entre Toulon et la Corse est construit exactement de la même manière que celui que nous venons de décrire.

Système de M. Bardonnaut. — Pour éviter les causes de rupture des câbles pendant l'immersion et soustraire les transmissions électriques aux influences fâcheuses de la condensation et de l'induction, M. Bardonnaut propose de les composer de deux conducteurs constitués chacun par plusieurs fils tordus en hélice et préalablement recouverts d'une matière compressible. L'un de ces conducteurs tiendrait lieu du sol, pour compléter le circuit, et il résulterait de cette disposition : 1° que le courant, en revenant ainsi sur lui-même, détruirait les effets d'induction et de condensation; 2° que la matière compressible dont seraient recouverts les fils eux-mêmes et leur disposition en hélice, leur permettrait de s'allonger sans se rompre et de suivre par conséquent dans la pose l'allongement de l'enveloppe protectrice. Ces deux conducteurs seraient d'ailleurs isolés à la manière ordinaire, et leur enveloppe protectrice serait constituée par une armature de corde. Toutefois, M. Bardonnaut semble avoir abandonné cette dernière partie de son système depuis les essais malheureux des câbles de Malte à Alexandrie, de Cagliari à Bône et de Malte à Corfou. Mais il croit la disposition qu'il indique pour ses fils conducteurs susceptible de donner des résultats très-avantageux [1]. M. Bardonnaut n'est pas, du reste, le seul à défendre les câbles à armatures en chanvre; le capitaine Rowett les proclame ouvertement comme pouvant seuls résoudre la grande question de la télégraphie océanique,

1. Voir les trois mémoires de M. Bardonnaut dans le tome Ier des *Annales télégraphiques*, pp. 117 et 297, et celui publié dans le tome III, p. 675.

en raison de la conservation dont ils sont susceptibles sous l'eau et de la légèreté qui en résulte pour le câble.

Système de M. de Matthys. — Se fondant sur l'expérience de M. Wartmann, dont nous avons parlé page 120, et de laquelle il résulte que la pression diminue la conductibilité des conducteurs métalliques, M. de Matthys croit voir dans le fait même de la pression énorme que subissent les câbles au fond de la mer, le secret de la non-réussite des lignes sous-marines. En conséquence, il cherche le moyen de préserver ces sortes de conducteurs contre les énormes pressions, et pour cela il propose de les recouvrir de deux armures métalliques séparées par une enveloppe de gutta-percha. Il est loin, comme on le voit, du système qui recherche la légèreté dans les câbles sous-marins. Mais ce qui est curieux dans cette idée, c'est qu'on a voulu tout sacrifier à un phénomène physique qui, s'il est authentique, est pour ainsi dire microscopique.

Il est bien encore quelques autres systèmes qu'on a proposés, mais ils sont tellement primitifs que nous ne pouvons pas nous y arrêter. Ainsi, par exemple, M. Davillé voudrait que les câbles sous-marins fussent composés d'un tube creux de gutta-percha rempli d'eau, et dans lequel flotterait un fil de fer recouvert de gutta-percha. L'eau, suivant l'auteur, pourrait servir de conducteur au lieu et place d'une âme métallique. On voit que cet inventeur ne s'est pas fait une idée bien nette du peu de conductibilité des liquides et que, contrairement à M. de Matthys, il n'apprécie guère la pression au fond de la mer.

Raccordement des câbles sous-marins.

Le raccordement en mer des bouts de câbles sous-marins est une des opérations les plus difficiles et les plus délicates de la pose de ces organes télégraphiques; le procédé de sou-

dure ordinaire exige au moins trois heures pour chaque raccordement, et encore est-il loin de donner toujours des résultats satisfaisants. Plusieurs systèmes récemment proposés semblent mieux résoudre la difficulté; mais nous ne citerons que ceux de MM. Lair et Brière, qui nous paraissent de beaucoup les plus perfectionnés.

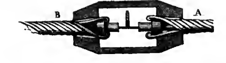


Fig. 18.

Le système de M. C. Lair consiste à introduire dans une boîte en fer AB, fig. 18, percée à ses deux bouts A et B de deux trous du diamètre du câble, les extrémités disjointes de celui-ci. Après leur introduction dans la boîte, on redresse les fils de fer de l'armature qui les terminent, et on recourbe ceux-ci en crochet de manière à les forcer de maintenir, comme les chatons d'une bague, un anneau légèrement conique formant bouchon à l'intérieur des deux trous de la boîte; les conducteurs de cuivre dégarnis de leur enveloppe sont ensuite amenés au milieu de la boîte pour être tortillés ensemble et soudés, et il ne reste plus qu'à remplir de gutta-percha l'intérieur de la boîte, et visser la couverture de fer de celle-ci pour terminer l'opération. On comprend facilement qu'avec cette disposition, la tension exercée sur les bouts du câble ainsi encastrés, n'a d'autre effet que de serrer davantage l'anneau conique contre les fils de l'armature et de les tenir plus étroitement reliés à la boîte.

Le système de M. Brière se compose de deux mâchoires coniques munies de rainures heliçoïdales dans chacune desquelles on engage, en les croisant, les fils de l'armature des deux tronçons qu'il s'agit de réunir. Dans l'espace vide re-

couvert par les deux mâchoires prennent place les bouts préalablement raccordés et recouverts de gutta-percha de l'âme du câble. De cette manière, toute la tension est supportée comme dans le système précédent par l'armature extérieure.

Ces deux systèmes ont été essayés à l'administration des lignes télégraphiques : le premier, celui de M. Lair, n'a exigé que 25 minutes de travail pour exécuter un bon raccordement, le second a demandé un peu plus (50 minutes); mais l'un et l'autre ont évidemment un grand avantage sur les systèmes employés ordinairement.

État actuel des câbles sous-marins immergés.

Si les lignes sous-marines se sont considérablement multipliées depuis quelques années, les nombreux échecs qu'on a eus à essuyer dans ces derniers temps et les accidents fréquents qui se sont manifestés sur les lignes anciennes ont tellement découragé les spéculateurs, qu'il est bien à craindre que, d'ici à quelque temps, cette branche si importante de la télégraphie ne soit arrêtée dans son essor. Le découragement, en effet, est tel en Angleterre, qui, comme on le sait, a eu jusqu'ici le monopole exclusif de ces sortes d'entreprises, que le gouvernement anglais a jugé à propos d'intervenir et de nommer une commission pour étudier les causes de tous les désastres survenus et les moyens d'y remédier. Cette commission, composée de MM. Wheatstone, Stephenson, Fairbairn, Douglas-Galton, Stuart-Wortley, Bidder, Varley, Latimer et Edwin Clark et Saward, a procédé à une enquête scientifique qui a fourni des résultats fort intéressants et a jeté un peu de lumière sur cette question si complexe. Mais, malgré la perspective d'un avenir meilleur, la confiance du capitaliste est détruite, et actuellement les projets les plus mûris, les plus consciencieusement étudiés,

n'excitent plus chez le peuple anglais que doute et indifférence.

Il faut convenir aussi que ce qui s'est passé est bien fait pour motiver ce découragement. Sur 23,597 kilomètres de câbles qui ont été posés depuis l'origine, 15,034 sont hors de service, et une très-petite partie seulement a pu être relevée, 8,563 kilomètres fonctionnent encore, mais Dieu sait jusqu'à quand.

Nous donnons ci-dessous la liste de ces derniers :

	Situation.	Longueur.	Date de l'immersion.
Mers peu profondes.	Câble de Calais à Douvres..............	40 kil.	1851
	— du petit Belt (Danemark)	30	1853
	— de Douvres à Ostende......	130	1853
	— entre l'Angleterre et la Hollande..	189	1853
	— de l'embouchure du Forth............	8	1853
	— entre l'Angleterre et l'Irlande.... — de port Patrick à Donaghadee...	40	1853
	— à travers la rivière de Tay...........	1,6	1853
	— entre la Corse et la Sardaigne.........	17,6	1854
	— entre l'Angleterre et l'Irlande.. — de Holyhead à Howth.........	120	1854
	— d'Angleterre à l'île de Wight..........	1,6	1854
	— entre l'Angleterre et l'Irlande.. — de port Patrick à Whitehead..	41	1854
	— entre la Suède et le Danemark..... ...	21	1854
	— de Varna à Constantinople.............	275	1855
	— de l'île du prince Édouard à New-Brunswick............	19	1856
	— entre l'Angleterre et le Hanovre.........	450	1858
	— entre l'Angleterre et la Hollande.. — d'Orfordness à Harlem............ ..	218	1858
	— de Liverpool à Holyhead.............	40	1858
	— de Weymouth à Jersey, Guernesey, etc.	149	1858
	— de Withehaven à l'île de Man....... ..	58	1858
	— entre l'Angleterre et le Danemark.......	560	1859
	— de Boulogne à Folkstone..........	38	1859
	— de Singapoor à Batavia...............	880	1859
	— entre la Suède et l'île de Gothland......	102	1859
	— de Transmanie en Australie.......... .	384	1859
	— du grand Belt (Danemark)......... ...	44	1860
	A reporter.	3856,8	

		Longueur.	Date de l'immersion.
	Report.	3856,8	
Mers profondes.	Câble entre la Spezzia et la Corse....	176	1854
	— de Terre-Neuve au cap Breton..........	136	1856
	— des Dardanelles à Chio et Candie, et de Chio à Smyrne......................	833	1858
	— d'Athènes à Syra et à Chio............	278	1859
	— de Cosseir à Souakin (Égypte), câble inutile............................	877	1859
	— de Hallani à Mascate (câble inutile)... .	898	1860
	— de la Sicile à Malte.......	112	1859
	— de Barcelone à Mahon...........	290	1860
	— d'Iviza à Majorque...................	118	1860
	— de la côte d'Espagne à Iviza...........	122	1860
	— d'Alger à Minorque....................	770	1860
	— de Corfou à Otrante..................	96	1861
		8562,8	

Voici maintenant la liste de ceux qui ne fonctionnent plus :

		Longueur.	Date de l'immersion.
Mers non profondes.	Câble d'Holyhead à Howth (1er câble).. ...	120	1852
	— de Varna à Balaclava	570	1855
Mers profondes.	— de Valentia à Terre-Neuve	3540	1858
	— d'Algérie en Sardaigne	200	1857
	— de Sardaigne à Malte et à Corfou.....	1120	1857
	— de la mer Rouge et de l'Inde..... ..	5630	1859
	— de Suez à Cosseir............	472	1859
	— de Souakin à Aden................	1164	1859
	— d'Aden à Hallani................. .	1328	1860
	— de Mascate à Kurrachée............	890	1860
	Total.....	15034	

Depuis la publication de ce relevé, de nouveaux câbles ont été immergés avec succès et fonctionnent. Ce sont les suivants :

	Longueur.	Date de l'immersion.
De Port-Vendres à Mahon.. . . .	...	1861
De Toulon à la Corse..	326	1861

De Dieppe à Newhaven..... ...	...	1861
De Jersey à Coutances..........	...	1861
D'Otrante à Corfou.............	. .	1861
De la Sicile à l'Italie..........	...	1861
De Malte à Alexandrie, plus de..	800	1861 [1]

Lignes sous-marines projetées. — Les tristes résultats que nous venons d'enregistrer démontrent ce me semble surabondamment que le problème qui doit préoccuper désormais les esprits dans le développement futur du grand réseau télégraphique appelé à réunir entre eux les différents points du globe, est de chercher les directions qui nécessiteront le moins de câbles sous-marins à poser. Dans ce genre d'entreprises, en effet, c'est souvent la ligne la plus longue qui est le plus court chemin, et si tous les millions qui ont été engloutis au fond de la mer, par la non-réussite des 15,000 kilomètres de câble dont nous avons parlé, avaient été employés à des lignes terrestres, même à travers des pays sauvages et déserts, on serait aujourd'hui plus prêt qu'on ne l'est de communiquer avec l'Inde, la Chine et l'Amérique.

Aussi commence-t-on généralement à revenir à cet ordre d'idées. La plupart des projets de lignes transatlantiques directes ont été abandonnés, même après les concessions faites, et on ne semble plus se préoccuper aujourd'hui, pour relier le nouveau monde à l'ancien, que de rechercher les côtes où les mers présentent la moindre largeur et le plus de points d'atterrissement sur le parcours de la ligne. D'après ce système, ce serait par une ligne traversant la Sibérie et l'Océan pacifique dans le voisinage du détroit de Béring, ou par les îles Aléoutiennes, qu'on devrait entrer en correspondance avec l'Amérique. Cette idée, émise déjà depuis longtemps, est plus réalisable qu'on ne le croit au premier abord. Car, d'un côté, les États-Unis sont déjà en communication

1. Voir l'article sur les câbles sous-marins dans les *Annales télégraphiques*, tome IV, p. 529.

télégraphique avec San-Francisco, et la Russie est sur le point d'achever l'immense ligne de 10,000 kilomètres environ qui doit relier Kasan aux possessions russes sur le fleuve Amour, par Omsk et Irkoutsk. Pour réaliser le projet gigantesque dont nous venons de parler, il ne s'agirait donc que de relier les possessions russes sur la mer du Japon à San Francisco par les îles Aléoutiennes, et cette entreprise n'aurait rien de bien difficile, puisque ces îles sont échelonnées, les unes à la suite des autres, entre les deux continents [1].

On a, il est vrai, opposé à cette idée un autre projet qui a aussi sa valeur et qui a été, dans ces derniers temps, l'objet d'études sérieuses et d'une expédition (dirigée par le colonel Schaffener) dont les résultats ont paru rassurants. D'après ce projet, cette ligne, qui serait transatlantique, irait d'abord d'Écosse aux îles Feroë, trajet dont la longueur est de 225 milles, puis de ces îles en Islande (distance 240 milles) ; elle traverserait cette île sur une longueur de 400 kilomètres, passerait de la baie de Fax près Reikiavick à la côte du Groënland (distance 670 milles), et de cette côte à celle du Labrador (distance 510 milles), en atterrissant dans la baie d'Hamilton. Il ne resterait plus alors pour arriver à l'extrémité la plus voisine du réseau canadien sur le golfe Saint-Laurent qu'une distance d'environ 250 milles à travers un pays, il est vrai, inconnu et très-froid [2].

On parle aussi d'une ligne africaine passant par le détroit de Gibraltar et parcourant tout le littoral nord de l'Afrique jusqu'à Alexandrie, laquelle serait la clef du télégraphe indien. On objecte, toutefois, à ce projet, qu'une ligne aérienne passant au milieu des tribus arabes du Maroc, de la Tunisie et du royaume de Tripoli serait peu respectée et souvent

1. Voir le Projet de M. Romanoff dans les *Annales télégraphiques*, tome v, p. 70.

2. Voir les articles de M. Blerzy sur cette question dans les *Annales télégraphiques*, tome IV, pp. 302 et 377.

détériorée. Mais on pourrait opposer à cette objection que la ligne de Constantinople à Bagdad, qui parcourt près de 500 lieues à travers des pays guère plus civilisés que le nord de l'Afrique, fonctionne parfaitement depuis quelques mois. Que n'a-t-on pas dit d'ailleurs, dans l'origine de la télégraphie, sur les accidents perpétuels qui devaient survenir sur nos lignes aériennes, et qui heureusement ne se sont pas produits?...

CABLES SOUTERRAINS[1].

Les câbles souterrains n'ont pas mieux réussi que les câbles sous-marins; tous les systèmes dont nous avons parlé dans nos précédents volumes ont échoué, de sorte que le problème est encore tout entier à résoudre. On avait, dans le temps, fondé de grandes espérances sur les fils isolés dans le bitume; mais les gerçures qui se sont manifestées dans cette substance, et le plus souvent certaines réactions chimiques, produites au sein même du sol, ont dû y faire renoncer pour toujours. Parmi ces réactions chimiques, il en est une qui a réagi de la façon la plus désastreuse : c'est celle résultant de l'action des fuites de gaz. Le gaz d'éclairage est, comme on le sait, un carbure d'hydrogène, et tous les bitumes ont la propriété d'être dissous par cette substance; il devait en résulter naturellement que les cubes de bitume placés dans le voisinage de ces fuites de gaz devaient finir par se ramollir, et permettre aux fils de se toucher; c'est en effet ce qui est arrivé. On a cherché à remplacer ce mode d'isolement par un système analogue à celui des câbles sous-marins, c'est-à-dire en employant la gutta-percha et en renfermant le faisceau de fils ainsi isolé et recouvert de coton goudronné dans des tuyaux de plomb ou des canivaux de beton.

1. Voir l'article de M. Saigey sur les lignes souterraines dans les *Annales télégraphiques*, tome II, p. 5.

Tous les fils de la rive gauche de la Seine, partant de l'administration centrale des lignes télégraphiques, ont été ainsi disposés au nombre de 55 il y a quelques années, et aujourd'hui, sur ces 55 fils, il n'y en a que 15 qui peuvent fonctionner. La plupart avaient leur enveloppe isolante décomposée, et les tuyaux de plomb eux-mêmes étaient endommagés. Dernièrement, M. Baron a essayé un système qui paraît avoir plus de chance de durée, pour les fils (au nombre de 91) allant de l'administration des lignes télégraphiques aux différentes gares de la rive droite de la Seine. Ces fils sont absolument disposés comme ceux des lignes sous-marines, moins le revêtement en fils de fer, et sont réunis 7 par 7, de manière à constituer 13 câbles bien isolés et indépendants les uns des autres. Le tout est introduit dans une large conduite de fonte dont les joints sont hermétiquement fermés avec du plomb, et qui présente des regards tous les 100 mètres. Tous ces câbles sont libres à l'intérieur de cette conduite, et on peut aisément les remplacer par fraction, quand leur isolement fait défaut, sans qu'on soit obligé de toucher à ceux qui fonctionnent bien. Cette ligne souterraine va d'abord de la rue de Grenelle à la rue Royale-Saint-Honoré. Elle est complétement enterrée dans cet intervalle; mais, en aboutissant rue Royale, au grand égout collecteur, elle cesse d'être enterrée et se trouve soutenue à la voûte de l'égout jusqu'à Asnières, où elle rejoint la ligne aérienne de ceinture, qui distribue les communications aux différentes gares de cette rive.

La suite dira si ce système est décidément meilleur que les autres. En attendant, une foule de personnes proposent des systèmes de câbles plus ou moins bien raisonnés, dont nous allons donner une légère idée. C'est ainsi que M. Largefeuille propose d'employer pour conducteurs des fils de cuivre entourés de coton et enduits d'un certain émail isolant analogue à la glu marine, le tout noyé dans du beton et renfermé dans des tuyaux de terre cuite; que M. Manigler

veut que les fils soient simplement tendus dans des tuyaux de fonte enduits intérieurement de caoutchouc. Suivant M. Lavialle, les fils devraient être disposés dans des caisses en bitume métallisé, et être maintenus séparés les uns des autres au moyen de cloisons en terre cuite percées de trous et distantes de 10 mètres les unes des autres. Ils devraient être, en outre, arrêtés tous les 100 mètres au moyen d'une traverse de sapin injectée de bitume, à laquelle ils seraient fixés par des cavaliers en fer doublés d'un tampon de coton. Enfin, leur tension devrait être maintenue au moyen de ressorts à boudin placés au milieu de l'intervalle de 100 mètres.

Le plus sérieux de tous ces systèmes est celui de M. Jalouerau. On sait que cet industriel est inventeur d'un système de tuyaux en papier bitumé qui sont d'une solidité extrême, et tellement imperméables, qu'on les emploie comme conduites d'eau. Ce sont des tuyaux de cette nature que M. Jalouerau propose comme enveloppe externe des câbles souterrains. Voici alors comment il dispose ceux-ci à l'intérieur des tubes :

L'un de ses systèmes consiste à terminer les bouts de chacun des tuyaux, longs de 3 mètres, par des cloisons en porcelaine percées de trous et disposées de telle manière que les deux bouts de tubes qui doivent se rejoindre s'emboîtent exactement sur eux, laissant seulement entre eux à découvert un intervalle de quelques centimètres. Les fils qui doivent composer le câble sont coupés par bouts de 3 mètres, et sont tendus à travers les tubes et arrêtés sur les cloisons de manière à laisser ressortir leur bout libre dans l'intervalle vide dont nous venons de parler. On remplit alors de bitume les tuyaux ainsi munis de ces fils, et la jonction de tous ces fils s'opère au fur et à mesure de la pose des tuyaux; il suffit pour cela de tordre ensemble les bouts qui se correspondent, de les souder et de remplir de

bitume la gorge demeurée vide, en ayant soin de faire un joint convenablement solide.

Ce système ayant l'inconvénient de rendre les conducteurs trop discontinus, M. Jalouerau a combiné un autre système, qui ressemble assez à celui proposé il y a quelques années par M. Royer de Laval, et dont nous avons parlé dans notre dernier volume. Cette fois, au lieu de noyer ses fils dans du bitume, M. Jalouerau les prend recouverts de gutta-percha et les pose dans des cannelures pratiquées tout autour de longs cylindres de sapin d'un diamètre convenable pour entrer dans les tubes de papier bitumé. De cette manière, rien ne force à couper les fils, et l'opération peut se suivre d'une manière continue en faisant glisser successivement les uns à la suite des autres les différents bouts de tubes.

CABLES AÉRIENS.

Les principales causes qui rendent la construction des lignes souterraines si difficile étant les infiltrations et les décompositions chimiques, on a recherché s'il n'y aurait pas moyen de suspendre dans l'air le câble lui-même au lieu de l'enterrer. Un système de ce genre a été dernièrement installé à Londres, et il a bien réussi, à ce qu'il paraît, du moins, jusqu'à présent. Dans ce cas, le problème à résoudre est différent de celui que nous avons étudié jusqu'ici. Il faut que les matières isolantes du câble soient très-flexibles, qu'elles ne puissent se gercer à l'air et que la résistance des fils soit assez grande pour soutenir, en temps de gelée comme par le vent, le poids du câble ou la force exercée sur lui.

Dans ce but, M. de Verdun a proposé un câble dont l'âme serait constituée par un fil de fer de 7 millimètres de diamètre et qui serait entouré de 8 conducteurs composés chacun de 3 fils de cuivre tordus ensemble et isolés par des couches successives de gutta-percha, le tout étant enveloppé

de cordelettes et de rubans enduits de goudron et peints à trois couches. Ce câble serait soutenu sur des poteaux à l'aide de haubans en fils de fer qui l'arquebouteraient en deux points, au delà des points de suspension, dans l'intervalle des poteaux.

D'un autre côté, M. Lebeuffe a proposé un système dans lequel le câble serait enveloppé dans un tuyau de plomb, et celui-ci serait soutenu par des crochets, à l'instar des tabliers des ponts suspendus, sur un petit câble de fils de fer porté par les poteaux télégraphiques.

RECHERCHES NOUVELLES SUR LES ÉLECTRO-AIMANTS ET LES PHÉNOMÈNES QUI S'Y RAPPORTENT.

Moyens de supprimer les effets de la condensation magnétique.

On croit généralement que l'adhérence que conservent un électro-aimant et son armature après l'interruption du courant inducteur, proviennent d'un magnétisme dit rémanent que posséderaient certaines particules impures du fer de ces organes magnétiques, et de là les recherches qui ont été faites pour obtenir des fers excessivement purs; mais il est loin d'en être ainsi. Sans doute, le magnétisme rémanent existe, et nous en avons vu souvent les preuves, mais ses effets sont très-minimes, relativement à ceux qu'on voudrait supprimer et qu'on attribue à tort à la même cause. On peut distinguer facilement les deux effets en faisant passer un courant énergique à travers un électro-aimant muni de son armature, et en arrachant plusieurs fois de suite cette armature, une fois le courant interrompu. Le premier arrachement exige une certaine force, quelquefois même une force très-considérable, tandis que les autres s'effectuent avec plus ou moins de facilité. Or, c'est l'aimantation qui subsiste après le premier arrachement, qui constitue le ma-

gnétisme rémanent. Avec les fers très-purs, comme ceux que M. Froment a obtenus dans le temps, et ceux de M. Cailletet, l'adhérence de l'armature à l'électro-aimant, après ce premier arrachement, est pour ainsi dire nulle; mais avec les fers impurs ou durs comme les fers de Suède, elle est assez considérable, surtout avec des électro-aimants de grandes dimensions. Nous avons vu dans nos précédents volumes les moyens de détruire cette action nuisible dans les fers; il nous reste maintenant à voir comment la première action, celle qui est de beaucoup la plus désavantageuse, peut être combattue. Mais auparavant, il est nécessaire de savoir quelle elle peut être, car c'est avec les fers les plus doux qu'elle se manifeste le plus énergiquement.

Dans mon ouvrage sur le magnétisme, j'ai démontré que les aimants peuvent agir d'une manière double, c'est-à-dire comme *courants* et comme *induisants*. Dans le premier cas, je considère que les effets produits sont analogues à ceux que présentent les courants voltaïques réagissant les uns sur les autres et sont soumis aux lois d'Ampère. Dans le second cas, au contraire, j'admets une réaction par influence susceptible de produire des effets analogues à ceux que présente l'électricité statique, mais sans admettre pour cela le déplacement des fluides magnétiques d'une molécule à l'autre. Ce genre de réaction, suivant moi, n'est qu'un changement dans l'orientation des polarités atomiques des corps magnétiques, changement qui peut donner lieu à des effets de magnétisme dissimulé, semblables à ceux qui se manifestent dans les condensateurs électriques ou les câbles sous-marins, et pour lesquels la force coërcitive tient lieu d'isolant. Or, un électro-aimant muni de son armature est précisément dans ce dernier cas, et constitue une espèce de condensateur magnétique dans lequel les deux fluides en présence des deux côtés de la surface de contact se maintiennent développés par leur réaction réciproque, après

même que la cause qui a provoqué cette réaction a cessé[1]. C'est donc cet effet de condensation magnétique qu'il s'agit de détruire, et voici les différents moyens qui ont été employés jusqu'ici pour y parvenir.

1. On peut s'en assurer de la manière suivante. Si on prend deux électro-aimants droits AB, CD, munis chacun de deux bobines, l'une de gros fil, l'autre de fil fin, comme dans la figure 19, et qu'on applique sur leurs pôles I, J, Q, H, deux armatures de fer doux EF, GH, on obtiendra ainsi un électro-aimant fermé dans lequel la force ma-

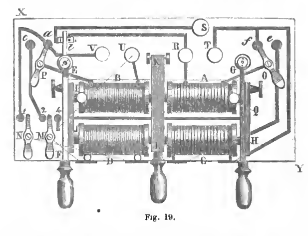


Fig. 19.

gnétique pourra créer un courant induit assez énergique. Il suffira, pour cela, de faire passer le courant d'un élément de Bunsen à travers les hélices de gros fil A et C, et le courant induit sera indiqué par un galvanomètre qu'on reliera aux extrémités du fil des bobines B et D. L'expérience étant ainsi disposée, on trouvera qu'au moment de la première fermeture du courant, l'aiguille du galvanomètre accomplira 7 révolutions sur elle-même, tandis qu'aux fermetures et ouvertures du courant qui suivront, elle n'en accomplira plus que 3. Qu'est donc devenue la force magnétique en rapport avec les 4 révolutions de l'aiguille qui manquent pour que les dernières expériences soient semblables à la première? Si on interrompt le courant inducteur à travers les bobines A et C, et qu'on écarte les armatures EF, GH des électro-aimants, on pourra peut-être le savoir; car aussitôt il naîtra un courant de *désai-*

Système de M. Jacobi. — Les effets nuisibles du magnétisme condensé et du magnétisme rémanent se manifestant au moment de l'ouverture des circuits, M. Jacobi a pensé qu'on pourrait les détruire plus ou moins complétement si

mantation qui fera parcourir à lui seul un tour de cadran à l'aiguille galvanométrique. Sans doute cette déviation ne représente pas toute la force magnétique perdue; mais cette circonstance s'explique facilement, comme je l'ai démontré.

Si on rapproche et on éloigne de nouveau les armatures EF, GH des électro-aimants AB, CD, sans nouvelle fermeture du courant, on obtient, il est vrai, une déviation de l'aiguille du galvanomètre; mais elle n'est plus que de quelques degrés (10 tout au plus), et cette fois cette déviation représente la force du magnétisme rémanent. En revanche, si on ferme de nouveau le courant à travers l'électro aimant, on obtient la force magnétique représentée par sept tours de l'aiguille du galvanomètre qu'on avait obtenue primitivement, et qui se trouve ensuite réduite à trois, si on n'écarte pas de nouveau les armatures EF, GH.

Si on examine la manière dont le magnétisme est distribué sur l'armature d'un électro-aimant, on ne tarde pas à se rendre compte de ces effets. Cette distribution des fluides ne se fait pas, en effet, comme on le croit généralement; le fluide attiré dans cette armature n'occupe qu'une calotte sphérique située précisément au-dessus du pôle actif de l'électro-aimant, tandis que le fluide repoussé occupe toute la périphérie de l'armature. Or, cette calotte sphérique occupée par le magnétisme attiré diminue d'amplitude à mesure que la distance qui sépare l'armature du pôle actif de l'électro-aimant diminue, et il arrive un moment, quand le contact entre ce pôle et l'armature a lieu, où le fluide attiré ne manifeste plus extérieurement sa présence.

Mais par cela que l'influence extérieure du magnétisme attiré n'existe plus, il ne s'ensuit pas qu'il soit neutralisé, et la preuve, c'est que l'attraction qu'il a provoquée entre l'électro-aimant et l'armature, continue et se trouve même portée au maximum; il n'est donc, par le fait, que *dissimulé*, et se trouve dans le cas des fluides électriques dans une bouteille de Leyde, c'est-à-dire dans un état tel *que les deux fluides en présence des deux côtés de la surface de contact peuvent se maintenir développés par leur réaction réciproque, après même que la cause qui a provoqué cette réaction a cessé.* Voilà pourquoi, après l'interruption du courant voltaïque à travers l'électro-aimant, l'attraction de l'armature subsiste et peut durer, ainsi que j'en ai fait l'expérience, plusieurs semaines, plusieurs mois même, sans diminution, et cela avec des fers très-doux.

on introduisait dans ces circuits un élément capable de fournir, par le fait même de l'interruption de ceux-ci, un courant de faible intensité dirigé en sens contraire du courant transmis, et variable avec ce dernier. Or, pour fournir un pareil résultat, les courants secondaires de polarisation réunissaient bien toutes les conditions voulues, et c'est à ce moyen qu'il a eu recours. Pour cela, il n'avait qu'à introduire une batterie de polarisation dans le circuit de son électro-aimant, et à faire en sorte que chaque interruption du courant fût suivie immédiatement d'une fermeture directe de ce circuit, ayant pour effet de mettre la pile complétement en dehors de celui-ci. Voici, à cet effet, le dispositif qu'il a adopté.

B, fig. 20, est une batterie de platine d'un nombre plus ou

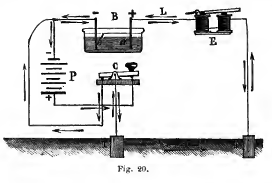


Fig. 20.

moins grand d'éléments, P une pile de ligne, E un appareil télégraphique, C une clé de télégraphe. La batterie B est réunie d'un côté à l'appareil télégraphique par le fil de ligne, de l'autre à la pile et à la clé, de manière à correspondre au contact établissant la continuité du circuit à travers l'appareil situé à la station de C. Cette station est d'ailleurs reliée avec le télégraphe E, par la terre, et avec la pile P. Or, voici ce qui arrive quand on transmet. Quand on

ferme le circuit de la ligne, le courant de la pile P va de C en E, de E en B et de B en P. La plaque *a* de la batterie se polarise positivement, la plaque *b* négativement, de sorte qu'au moment de l'interruption du circuit, le courant de polarisation va de *a* en E, de E en C et de C en *b*, c'est-à-dire en sens contraire du courant primitif. Si l'électro-aimant E a conservé son action attractive, celle-ci se trouve donc détruite par le courant secondaire, et comme le courant de polarisation varie d'intensité avec le courant de la pile, les appareils étant une fois convenablement réglés, les effets nuisibles du magnétisme condensé et rémanent se trouvent toujours combattus par une force qui augmente ou diminue avec eux.

Un élément de la batterie de polarisation de M. Planté a pu, comme je le disais page 96, détruire à l'aide de cette disposition un magnétisme condensé représenté par 200 grammes d'attraction.

L'inconvénient de ce système est de provoquer quelquefois, quand les appareils ne sont pas bien réglés, plusieurs mouvements insolites de l'armature de l'électro-aimant, provenant de ce qu'après avoir détruit le magnétisme rémanent et avoir fait soulever cette armature, le courant de polarisation provoque par son action propre une nouvelle attraction qui n'est nullement commandée par le courant de ligne. Cet effet se produit fréquemment avec les batteries de plomb en raison de leur grande force électro-motrice. Avec les batteries de platine, au contraire, il ne se rencontre presque jamais; mais en revanche, il faut, pour obtenir une action efficace, employer un bien plus grand nombre d'éléments, ce qui ne laisse pas que d'augmenter considérablement la résistance du circuit.

Système de M. Th. du Moncel. — Dans notre étude du magnétisme, j'avais démontré que si l'on place latéralement devant l'extrémité libre de l'armature d'un électro-aimant

droit M, fig. 21, un aimant permanent NS, on pouvait obtenir deux effets diamétralement opposés (suivant la nature du pôle mis en présence de cette armature), qui pouvaient être utilisés avantageusement dans les applications électriques. Ainsi

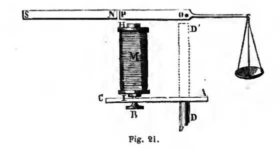


Fig. 21.

j'avais reconnu que si le pôle de l'aimant fixe ainsi ajouté est de même nom que le pôle le plus voisin de l'électro-aimant, la force attractive initiale se trouve, à la vérité, un peu diminuée, par exemple dans le rapport de 24 grammes à 22, mais qu'en revanche les effets du magnétisme condensé sont bien amoindris, tellement, que si une force de 17 grammes est nécessaire pour détacher l'armature de l'électro-aimant sans l'intervention de l'aimant, 2 grammes au plus suffisent pour obtenir le même résultat avec cette intervention, et les mouvements de l'armature peuvent être ainsi aussi rapides qu'on le désire. J'avais encore reconnu que si on intervertit la position relative des pôles de l'aimant fixe, on augmente la force attractive initiale de plus d'un tiers dans certaines circonstances, mais que les effets du magnétisme rémanent se trouvent aussi considérablement augmentés. Ces deux modes d'action peuvent être utilisés, mais le plus important est celui qui évite les inconvénients du magnétisme condensé, et il s'agissait de savoir comment ce système pouvait être appliqué aux électro-aimants à deux

branches, les seuls qui sont employés dans les applications électriques.

Si on oppose deux aimants fixes devant chaque extrémité de l'armature d'un électro-aimant à deux bobines, les effets dont nous avons parlé précédemment sont peu sensibles; cela vient de ce que la surface extérieure de l'armature de ces sortes d'électro-aimants n'est pas polarisée d'une manière uniforme et se trouve même à l'état neutre pour des forces magnétiques peu énergiques. Mais avec les électro-aimants boiteux qui ont, comme je l'ai démontré, à peu près la même force que les électro-aimants à deux bobines (longueur de fil pour longueur de fil), on les retrouve sinon aussi déterminés qu'avec les électro-aimants droits, du moins parfaitement caractérisés. On peut même, par une disposition supplémentaire que je vais indiquer, obtenir avec ces sortes d'électro-aimants des réactions plus importantes que celles que j'ai signalées pour les électro-aimants droits. Cette disposition consiste simplement à appliquer sur la branche sans bobine de l'électro-aimant boiteux un aimant fixe présentant devant l'armature un pôle de même nom que celui de l'électro-aimant recouvert de la bobine. Le système se trouve donc disposé de la manière suivante :

NS, fig. 22, est un aimant droit fixé le plus près possible de l'armature FI, de manière que le pôle N soit de même nom que le pôle A de l'électro-aimant, *ac* est la branche sans bobine de cet électro-aimant, N'S' le second aimant appliqué sur cette branche; celui-ci doit toucher en S' le fer de la culasse BC et être séparé du pôle *a* de la branche sans bobine par une petite calle de cuivre. Enfin l'armature FI doit être articulée en I et être également séparée du pôle *a* par un disque de papier assez épais pour que l'armature, étant appliquée sur le pôle A de l'électro-aimant, éprouve en *a* une certaine résistance. Voici ce qui résulte de cette disposition.

Quand le courant cesse de circuler à travers l'électro-aimant, le magnétisme attiré de l'armature est surtout condensé en A, la branche *ac* étant magnétisée très-faiblement et ayant d'ailleurs sa polarité en grande partie neutralisée

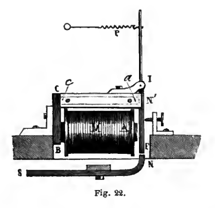


Fig. 22.

par la polarité contraire de l'aimant N'S'; or les aimants NS et N'S', en réagissant l'un sur l'armature, l'autre sur le noyau de fer de l'électro-aimant, tendent à détruire cette condensation. En effet, le pôle S' de l'aimant N'S' étant en contact avec la traverse BC de l'électro-aimant et étant de nom contraire au pôle A, tend, après la cessation du courant, à communiquer sa polarité à toute la masse de fer de cet électro-aimant, et par conséquent à détruire en A le magnétisme qui s'y trouvait développé; d'un autre côté, l'aimant NS tend à attirer en F le magnétisme de l'armature condensé en A, et à lui substituer du magnétisme repoussé; or, il résulte de cette double réaction que l'attraction se trouve changée en répulsion. On peut effectivement s'en assurer en retirant le barreau aimanté N'S' et en équilibrant l'armature à l'aide d'un ressort P, de manière à laisser au magnétisme rémanent un excès de force suffisant pour la maintenir abaissée.

Au moment où l'on approche l'aimant N'S' de la branche *ac*, on voit immédiatement cette armature se relever, et pour qu'elle s'abaisse de nouveau, il suffit d'éloigner l'aimant N'S'. L'effet est tellement sensible que la présence seule du pôle S' peut suffire.

Certainement, au premier abord, on pourrait croire qu'une pareille combinaison ne peut réaliser les avantages que nous avons annoncés qu'au préjudice de la force attractive, mais l'expérience montre que ce préjudice est bien minime, et on le comprendra aisément si l'on examine que le pôle S' de l'aimant fixe adapté à la branche sans bobine réagit sur la traverse BC de l'électro-aimant et surexcite sa polarité; par suite la force du pôle A de l'électro-aimant muni de la bobine se trouve augmentée quand il est actif. Les chiffres suivants peuvent du reste montrer la vérité de la théorie précédente :

Ainsi un électro-aimant boiteux qui, avec la disposition précédente attirait 130 grammes à un millimètre de distance, en attirait, il est vrai, 140 sans cette disposition ; mais, en revanche, le magnétisme condensé qui exigeait 180 grammes de force antagoniste (au contact du fer) pour que l'armature pût se détacher, n'exigeait plus aucune force antagoniste avec la disposition électro-magnétique que nous avons décrite.

Inutile de dire que plus les aimants NS, N'S' sont énergiques, mieux la réaction s'opère.

Il est aussi quelques détails de construction que nous devons indiquer pour placer ce système dans les meilleures conditions possibles. Ainsi les branches de l'électro-aimant doivent être longues et d'inégale grosseur, la branche sans bobine doit être de très-petit diamètre et très-rapprochée de la bobine. La culasse BC doit être épaisse, et l'aimant N'S' doit être fixé sur la branche sans bobine, au moyen de vis de cuivre; il doit dépasser un peu cette branche afin de réagir latéralement sur l'armature. Celle-ci doit être longue et

dépasser de beaucoup le pôle A de l'électro-aimant; elle doit d'ailleurs être articulée sur une pièce de cuivre I fixée sur la branche sans bobine, un peu en arrière du pôle. Enfin il est nécessaire que la branche recouverte de la bobine soit d'un assez gros diamètre (de 12 à 13 millimètres pour les électro-aimants à fil fin).

Système de M. J. Queval. — Ce système consiste à recouvrir les électro-aimants d'une seconde hélice en rapport avec une pile particulière de petite intensité et dont le courant, dirigé en sens contraire de celui qui doit animer l'électro-aimant, n'est mis en circulation qu'au moment même où l'armature ayant atteint l'extrémité de sa course, est sur le point de toucher le fer de l'électro-aimant. La force attractive, qui est alors produite, étant supérieure à la force répulsive que tend à développer la pile accessoire, l'armature est maintenue abaissée; mais quand le courant principal est interrompu, le courant de cette pile accessoire devient prépondérant, et oppose au magnétisme condensé de l'armature un magnétisme de même nom, d'où résulte une répulsion qui est précisément concordante avec l'interruption du courant principal et contribue à faire détacher l'armature.

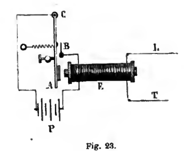


Fig. 23.

La figure 23 peut donner une idée de cette disposition : E est un électro-aimant dont la première hélice correspond

au circuit LT, et la seconde à la pile accessoire P et à une lame de ressort B. Lorsque l'armature A est attirée sous l'influence du courant envoyé par le circuit LT, elle rencontre avant la fin de sa course le ressort B, et ferme le courant de la pile P qui produit un effet inverse à celui du courant principal. Nous verrons plus tard comment M. Queval a établi cette disposition pour les appareils télégraphiques.

Système de M. Cuche. — Ce système est assez analogue à celui que nous venons de décrire ; seulement, au lieu que ce soit une action électrique répulsive qui provoque le détachement de l'armature, c'est l'action attractive d'un second électro-aimant qui agit en sens contraire de l'attraction produite, et qui se trouve mis en action quand l'armature, étant à la fin de sa course, rencontre sa vis butoir. L'inconvénient de ces deux systèmes est de ne pouvoir fonctionner régulièrement que quand les courants qui commandent l'attraction sont d'une intensité suffisamment constante pour que le courant de la pile locale ne soit pas ou trop fort ou trop faible. Or, dans certaines applications, il est impossible de compter sur cette constance des courants.

Dispositions nouvelles des électro-aimants et autres organes électro-magnétiques.

Électro-aimants à armatures électro-aimants. — Il y a déjà longtemps, en 1854, j'avais appliqué à un télégraphe imprimeur comme armature de l'électro-aimant commandant le mouvement de la roue des types, un petit électro-aimant droit terminé par deux petites palettes de fer doux, et ayant pour fonction : 1° d'augmenter la force attractive de l'électro-aimant de l'appareil télégraphique ; 2° d'annihiler cette force attractive, pour un certain sens du courant transmis, en faisant traverser ce petit électro-aimant par un courant local contraire à celui de la ligne et plus fort que lui. Voici quelle

était la disposition de cet appareil : AB, fig. 24, était l'armature électro-aimant en question; elle était portée par la fourchette d'encliquetage commandant le mouvement de la roue des types, et le fil de la bobine qu'elle portait corres-

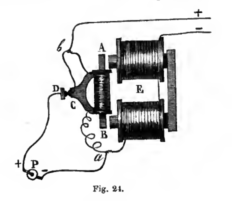


Fig. 24.

pondait d'un côté avec l'une des extrémités du fil de l'électro-aimant E et avec l'un des pôles de la pile locale P, de l'autre avec le fil de ligne et un butoir de platine C adapté au levier de la fourchette. Un second butoir D, communiquant avec le second pôle de la pile locale, complétait le système.

Quand un courant de sens convenable était transmis à travers l'électro-aimant E et la bobine de son armature, celle-ci se trouvait attirée avec d'autant plus de force que les deux actions magnétiques déterminées étaient conspirantes dans un même sens, et de plus, le courant de la pile locale P augmentait encore cette action au moment où l'armature était la plus éloignée de l'électro-aimant; quand, au contraire, le courant transmis était renversé, le courant de ligne se trouvait neutralisé à travers la bobine de l'armature par le courant de la pile locale, et comme celui-ci n'avait qu'une très-petite résistance à franchir à travers cette bobine, il

pouvait à lui seul aimanter l'armature de manière à la rendre inerte devant l'action de l'électro-aimant. Bien que ce système ait convenablement fonctionné avec des circuits rendus assez résistants, les dérivations du courant de la pile locale à travers le circuit de ligne me parurent dangereux pour une bonne transmission, et j'en revins aux armatures aimantées, n'attachant pas d'ailleurs une grande importance à cette combinaison magnétique, qui fut cependant le point de départ des armatures électro-aimants employées depuis par MM. Cechi, Breguet, Regnault, etc. Les dispositions adoptées par ces inventeurs me paraissant d'ailleurs préférables à la mienne, je crus qu'il était inutile de revenir sur celle-ci ; de là vient l'omission que j'en ai faite dans mes ouvrages. Toutefois on peut en trouver une description détaillée dans le journal l'*Institut* du 1er novembre 1854.

Je donne tous ces détails parce que l'année dernière, c'est-à-dire en 1861, M. Maroni a réinventé ce système électro-magnétique, et l'ayant appliqué au télégraphe Morse, il en a obtenu, à ce qu'il paraît, des effets très-avantageux, tellement avantageux que beaucoup d'appareils ainsi disposés sont actuellement employés en Italie.

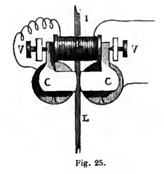


Fig. 25.

La figure 25 représente la manière dont ce genre d'ar-

mature électro-aimant a été appliqué au levier imprimeur des télégraphes Morse. Les bobines de l'électro-aimant A, A sont vues en projection horizontale, C, C sont les palettes de fer de l'armature électro-aimant, B la bobine, V, V les vis sur lesquelles pivote, suivant son axe, cette bobine, l L le levier fixé aux joues de fer de la bobine. L'une des extrémités du fil de l'électro-aimant communique avec l'un des bouts du fil de B dont l'autre bout est en communication avec la terre.

Système électro-magnétique de M. Roudel. — D'après M. Roudel les électro-aimants tubulaires jouiraient d'une propriété particulière qui les rendrait susceptibles de fournir deux attractions différentes sous l'influence d'une simple inversion de courant.

« J'ai rivé, dit-il, en deux points diamétralement opposés de la chemise d'un de ces électro-aimants, deux petits supports en fer doux auxquels j'ai articulé deux armatures A, C, fig. 26, aussi en fer doux. La première A est beaucoup moins massive que la seconde et se trouve beaucoup plus voisine du pôle libre de l'électro-aimant.

« En faisant passer dans le fil de l'électro-aimant un cou-

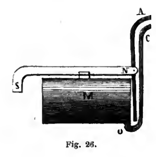


Fig. 26.

rant d'une certaine intensité i, et dans un sens tel que son pôle libre soit boréal, l'armature A est seule attirée ; mais,

si l'on inverse le courant, le pôle libre devenant austral, les deux armatures sont simultanément attirées. Toutefois, en vertu de la différence des masses et des distances, le mouvement de A est plus rapide que celui de C.

« En réglant l'intensité du courant de manière qu'elle soit constamment comprise entre deux valeurs, l'une maximum, l'autre minimum, l'appareil fonctionne régulièrement, l'armature C se mouvant à volonté. Mais lorsque i devient maximum, les deux armatures sont attirées, quel que soit le sens du courant, et si cette intensité devient minimum, C n'est jamais attiré quel que soit le sens du courant, tandis que A se meut encore très-rapidement. »

M. Roudel a appliqué ce système à un télégraphe-imprimeur, pour faire fonctionner à volonté la roue des types et le mécanisme imprimeur, et il paraîtrait qu'il aurait fourni de bons résultats.

Afin de pouvoir faire varier l'intensité du courant dans de plus grandes limites sans cesser d'obtenir l'effet utile, M. Roudel place un aimant fixe NS parallèlement à l'axe de l'électro-aimant, le pôle boréal en face de l'armature C. Par cette disposition, chaque fois que l'électro-aimant est austral, cette armature C est attirée plus énergiquement, et, dans le cas contraire, sa tendance au mouvement est neutralisée par la répulsion due à la réaction de l'aimant fixe.

Électro-aimants à chapelet de M. G. Perrin. — Le problème qui préoccupe toujours les inventeurs est celui d'augmenter la course de l'armature des électro-aimants sans diminuer par trop la force attractive. Nous avons vu, dans nos précédents volumes, comment MM. Robert Houdin, Froment, Roux, Pellis et Henry avaient cherché à résoudre ce problème. Depuis, M. G. Perrin a présenté une nouvelle solution qui, si elle n'est pas tout à fait complète, est du moins ingénieuse et peut quelquefois être employée utilement. Ce système consiste à composer les noyaux de fer des électro-ai-

mants de rondelles de fer d'une épaisseur au moins égale à la moitié de leur diamètre et reliées entre elles par des agrafes de cuivre en forme de boutonnières, comme on le voit fig. 27. Ces agrafes sont maintenues par des vis adaptées aux rondelles, et ces vis, grâce à la rainure pratiquée dans les agrafes, ne sont pas un obstacle au rapprochement des disques. Il résulte de cette disposition que si une force est appliquée à soulever le disque supérieur, tous les autres disques suivront et formeront une espèce de chapelet dont les grains, représentés par les disques, seront éloignés les uns des autres de la longueur de la rainure des agrafes, et fourniront, en revenant au contact, une course égale à la somme de tous les espaces qui les séparaient. Or, si l'on considère que, sous l'influence du courant développé dans

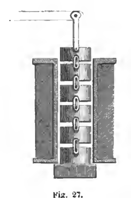


Fig. 27.

l'hélice qui enveloppe ce chapelet, ces différents disques constituent de véritables aimants, dont la force est surexcitée par leur action réciproque et les masses magnétiques qui les entourent, on comprendra facilement que chaque fermeture du courant à travers l'hélice, en produisant d'un seul coup le rapprochement de tous ces disques, déterminera

une course attractive qui pourra être d'autant plus grande que l'hélice enveloppante sera plus longue et les disques plus nombreux. Dans ce système, il n'y a donc pas, par le fait, d'armature, et ce sont les différentes parties du noyau de l'électro-aimant lui-même qui en jouent le rôle.

Électro-aimants à noyau mobile de M. Colombet. — Pour obtenir une plus grande course de l'armature des électro-aimants et faire agir en même temps ceux-ci dans leurs conditions de maximum de force, M. Colombet a eu recours à un moyen analogue à celui que M. Achard avait déjà mis à contribution pour son embrayeur électrique, c'est-à-dire à l'action intermédiaire d'un moteur mécanique.

Concevons un cylindre en fer doux placé dans l'intérieur d'une bobine et animé d'un mouvement de rotation sur lui-même au moyen d'un mécanisme d'horlogerie spécial, la bobine d'ailleurs restant fixe; imaginons maintenant, appuyée légèrement sur ce cylindre, une armature arquée, adaptée à la pièce qu'il s'agit de mettre en jeu électriquement. On comprendra facilement que l'appareil pourra être disposé de telle manière que, dans les conditions ordinaires, cette armature pourra ne pas être entraînée; mais aussitôt qu'un courant traversera la bobine, l'aimantation, se produisant sur le fer, déterminera entre lui et l'armature une adhérence qui forcera cette dernière pièce à tourner avec le cylindre. Or celle-ci pourra, en entraînant un levier, déterminer telle réaction mécanique qu'on voudra.

Ce système, comme on le voit, est bien semblable à l'embrayeur à adhérence magnétique de M. Achard, que nous avons décrit page 154 de notre dernier volume.

Études nouvelles sur les réactions magnétiques.

Force directrice des électro-aimants sous l'influence du courant électrique. — Il y a quelques années, j'avais démontré

que, si une lame de fer doux un peu large est disposée de manière à se mouvoir tangentiellement devant le pôle d'un aimant, elle est attirée jusqu'à ce que sa ligne médiane coïncide avec le centre polaire. Par ce moyen, j'étais parvenu à obtenir dans un électro-moteur, que je fis construire en 1852, une course attractive de 14 centimètres. Depuis cette époque, cette disposition magnétique a été adoptée dans plusieurs applications électriques, notamment dans le régulateur électrique de M. Serrin. Mais cette force directrice des pôles des aimants n'est pas la seule. En voici une autre dont les effets étonnent au premier abord et feraient croire à un phénomène d'un ordre particulier, s'ils ne pouvaient s'expliquer simplement par les lois de la distribution magnétique dans les armatures, lois que j'ai établies dans mon *Traité d'électro-magnétisme* en 1857.

Si l'un des pôles d'un électro-aimant droit se termine par une barre de fer doux un peu longue, bien dressée et bien polie, et qu'on applique sur elle une autre barre de fer doux un peu plus courte, mais légèrement bombée, et disposée de manière à pouvoir pivoter aisément sur son centre, il arrivera, quand cette dernière barre sera placée longitudinalement sur la première, qu'elle se trouvera déviée avec force au moment du passage du courant à travers l'électro-aimant, soit à gauche, soit à droite, jusqu'à ce qu'elle se soit mise en croix sur la barre fixe, position qui constitue son état d'équilibre stable.

Cet effet vient de ce que la barre mobile, se trouvant influencée par le pôle de l'électro-aimant qui est épanoui sur toute la surface de la barre fixe, est polarisée par celle-ci, de telle manière que le fluide attiré se trouve dissimulé au point de contact des deux barres, et que les surfaces extérieures de celles-ci possèdent une polarité semblable sur toute leur étendue. Il en résulte donc une répulsion qui s'effectue dans un sens ou dans l'autre, suivant que l'axe de la

barre mobile croise à gauche ou à droite l'axe de la barre fixe, croisement qui a toujours lieu, puisque la superposition parallèle des deux lames constitue un état d'équilibre instable que la moindre cause peut troubler. Ce n'est que quand les deux axes se croisent à angle droit que les forces répulsives se trouvent équilibrées de part et d'autre.

On peut s'assurer de la vérité de cette explication en plaçant sous la partie bombée de la barre mobile un peu de papier. Dans ce cas, le fluide attiré n'est plus tout à fait dissimulé, et sa répartition sur toute la surface inférieure de la barre mobile provoque entre les deux barres une attraction normale qui s'effectue du côté où la lame fixe est attachée à l'aimant en raison de la plus grande force polaire de la barre de ce côté. Alors la force directrice est complétement dissimulée, et la barre mobile n'est plus déviée ni à droite ni à gauche.

J'ai utilisé cette force directrice pour un tourniquet magnétique d'un nouveau genre; mais, comme elle fournit une course attractive assez grande, on peut l'employer dans certaines applications électriques.

Le phénomène que je viens de rapporter donne l'explication d'un effet que j'avais signalé il y a trois ans et dont il était difficile de déterminer la cause. Voici quel est cet effet :

Si l'on fixe sur l'un des pôles d'un électro-aimant droit une masse de fer doux et qu'on mesure la force attractive de l'autre pôle, on trouve que cette force est considérablement augmentée, et cette augmentation est d'autant plus grande que la masse de fer additionnelle est elle-même plus grande. Cette augmentation, d'abord très-rapide, devient ensuite plus lente et finit par atteindre une limite qui varie suivant l'énergie de la force magnétique initiale et la grosseur du noyau magnétique, mais qui peut être obtenue avec de faibles forces, quand la masse de fer additionnelle est trois ou quatre fois celle du noyau directement magnétisé par l'hé-

lice. Si cette masse additionnelle augmente, la force attractive reste quelque temps stationnaire, puis son action change de signe, ainsi que l'a observé pour la première fois M. Nicklès.

Par ce moyen, on peut parvenir à quadrupler la force polaire des électro-aimants droits; mais ce qu'il y a de plus curieux dans ce phénomène, c'est que l'excitation ainsi communiquée dépend moins de la masse de fer additionnelle que de la surface de cette masse. On peut s'en convaincre en articulant une série de lames de fer de manière à pouvoir se replier et se développer comme les différentes lames d'un mètre. Si cette série de lames est repliée de manière à former une même masse de fer, la force attractive due à la surexcitation qui en résulte, sera moins grande que quand les lames seront développées, et cela, quelle que soit la manière dont ce développement sera opéré. Si on fait cette expérience avec les deux lames de fer dont j'ai parlé au commencement de cette note, on trouve que, quand ces deux lames sont disposées parallèlement entre elles, la force de l'électro-aimant qu'elles surexcitent est de 60 grammes, tandis que, quand elles sont dans leur position réciproque d'équilibre, c'est-à-dire en croix, cette force attractive est de 65 grammes. Dans ce cas, l'affaiblissement de la force attractive avec les lames placées parallèlement, ne peut être attribuée évidemment qu'à l'altération de la polarité du pôle épanoui, par suite de la réaction de la lame mobile polarisée de la même manière. Or, comme tous les effets qui se manifestent avec des faisceaux de lames de fer se reproduisent plus ou moins avec des masses compactes de mêmes dimensions que ces faisceaux, il est à supposer que c'est à une action du même genre qu'on doit attribuer l'affaiblissement de la surexcitation magnétique dont nous avons parlé par l'effet de l'amoindrissement des surfaces extérieures des lames de fer additionnelles.

Différence d'effets du courant induit d'ouverture et du courant induit de fermeture. — M. Hipp a fait récemment une série d'expériences dans le but de reconnaître les conditions les plus avantageuses des courants induits dans leur emploi pour la télégraphie électrique.

A l'aide d'un appareil analogue à celui de M. Guillemin, il a reconnu que les courants induits inverses, qui ont, comme on le sait, moins de tension que les courants induits directs, mettent plus de temps à atteindre leur intensité maximum que ces derniers. Ainsi, pour que le courant inverse de l'appareil avec lequel il a expérimenté ait pu atteindre son intensité maximum dans un circuit fermé, il a fallu que la fermeture du circuit inducteur durât 0″,0113, tandis que, pour faire arriver à ce maximum le courant direct, il suffisait d'une ouverture de ce même circuit inducteur de 0″,0045, et pourtant les deux courants étaient égaux en intensité, comme l'expérience l'a démontré à M. Hipp. Cette différence de temps vient probablement de ce que l'aimantation du noyau de fer de la bobine induite qui détermine le courant inverse est plus de temps à se produire que sa désaimantation, et c'est peut-être à cette circonstance que les deux courants induits doivent la différence de tension qui les caractérise, car on sait que plus l'action qui provoque l'induction est instantanée, plus le courant qui en résulte a de tension.

Quoi qu'il en soit, cette particularité du phénomène explique pourquoi, dans l'appareil de Ruhmkorff, il est important d'augmenter les temps de fermeture du courant inducteur au préjudice des temps d'ouverture.

M. Hipp a encore trouvé que, sur une ligne télégraphique, les courants induits ont une vitesse de propagation beaucoup plus grande que les autres courants, et que le courant direct, c'est-à-dire le courant d'ouverture, fournit une force

électro-magnétique six fois plus forte que celle qui résulte du courant inverse.

Ces résultats s'expliquent facilement si l'on considère que le courant direct, ayant plus de tension que le courant inverse, s'affaiblit moins vite que ce dernier quand il est obligé de traverser un circuit très-résistant, et comme sur les circuits mal isolés la vitesse de propagation est d'autant plus grande que la tension de la source est plus considérable, ainsi qu'on l'a vu page 112, on comprend que les courants induits aient une vitesse de transmission plus grande que celle des courants voltaïques. (Voir le *Mémoire de M. Hipp*, dans les *Annales télégraphiques*, page 394, tome 3.)

Effets particuliers des courants voltaïques par rapport à l'action magnétique qu'ils produisent. — M. Hipp a appelé l'attention des physiciens sur ce fait, que deux courants d'égale intensité, dont l'un est produit par un seul couple, et l'autre par une pile composée de plusieurs éléments, n'exercent pas une action identique sur un barreau de fer doux. Il paraîtrait, en effet, d'après cet habile constructeur, que l'aimantation se développerait plus rapidement quand on emploie le courant à forte tension. Ainsi, un appareil Morse, qui ne pouvait tracer que 16 signaux télégraphiques dans un certain laps de temps, quand on le faisait fonctionner à l'aide d'un seul élément, en traçait 26 dans le même laps de temps lorsqu'on se servait de 12 éléments, et cependant les deux courants produisaient la même déviation au galvanomètre. M. Beetz, ayant reconnu par une autre méthode ce même phénomène, en a donné l'explication suivante :

« Au moment de la fermeture d'un circuit qui correspond à un électro-aimant, le courant ne prend pas immédiatement toute sa force, parce qu'il se développe dans le conducteur un courant induit qui se produit en sens contraire du courant voltaïque et diminue par conséquent son intensité.

L'énergie de ce contre-courant dépend de la résistance qu'il doit parcourir. Or, plus les éléments dont la pile est composée sont nombreux, plus cette résistance est considérable et plus, par conséquent, le contre-courant doit être faible. Le temps nécessaire pour que le courant atteigne son maximum d'intensité et pour que l'aimantation du fer soit complète sera donc beaucoup moins long quand on emploiera une pile à forte tension. »

M. Beetz aurait pu, ce nous semble, ajouter à cette explication que, par suite de la même action d'induction, le fer de l'électro-aimant ne perd pas son aimantation aussitôt après l'ouverture du circuit, car un courant direct prend alors naissance dans ce circuit et continue un instant l'action du courant voltaïque; par conséquent, moins ce courant induit sera énergique, moins les mouvements oscillatoires de l'armature de l'électro-aimant seront embarrassés.

M. Brisson, inspecteur des lignes télégraphiques, a du reste démontré d'une manière parfaitement nette l'existence de ce courant induit direct en ramenant rapidement le manipulateur de son télégraphe à la position de réception, après avoir envoyé un courant à travers le récepteur d'une station correspondante et avoir établi dans le circuit un galvanomètre. Le courant induit résulte alors de la réaction de l'électro-aimant de l'appareil de cette station.

« L'effet produit par ce courant induit, dit M. Brisson, est souvent plus intense que celui qui est dû au courant de retour, c'est-à-dire au courant qui provient de la décharge du fil de ligne isolé quand on coupe sa communication avec la pile et qu'on le fait communiquer avec la terre. Ce courant induit se produit à toute distance et doit augmenter quand la distance diminue, tandis que l'inverse a lieu pour le courant de retour. Il est suffisant, quand la pile employée est assez énergique, pour faire marcher un récepteur ordinaire, surtout si l'on a soin d'augmenter la sensibilité de celui-ci.

« Si l'on tourne la manivelle d'un manipulateur à cadran au poste A pour envoyer le courant au poste B, et si l'on remplace encore le récepteur de A par un galvanomètre, on observera un courant dont l'intensité augmentera avec la vitesse de rotation ; mais si le nombre des émissions et des interruptions de courant pendant une seconde était supérieur à celui des aimantations possibles dans le même temps, on n'observerait plus aucune déviation, parce que l'aimantation de l'électro-aimant de B serait permanente. La déviation de l'aiguille du galvanomètre augmente donc avec la rapidité des interruptions jusqu'à un certain point, à partir duquel elle décroît, et plus la force coercitive du fer doux est faible, plus la vitesse de rotation de l'interrupteur qui produit la déviation maximum est grande. »

Induction produite par les courants circulant sur les lignes télégraphiques. — Nous avons vu que, dans ses recherches sur les lois de la propagation de l'électricité dans l'état variable des tensions, M. Guillemin avait été conduit à ce fait important, que les phénomènes d'induction électrique ne sont produits que pendant la période variable du courant inducteur ; tout dernièrement, le même savant a complété son travail en démontrant que les courants de fermeture, c'est-à-dire les courants induits inverses, changent de sens suivant la durée plus ou moins grande du courant inducteur, tandis que les courants induits directs ne sont pas affectés par cette durée. Voici comment il a disposé son expérience :

Une bobine, composée de deux fils de cuivre égaux, de 1/4 de millimètre de diamètre et de 600 mètres de longueur, formant deux couches distinctes, est disposée de manière que le fil inducteur fasse partie intégrante d'un long fil télégraphique de 570 kilomètres. Le fil induit est fermé sur lui-même, et le galvanomètre est introduit par dérivation sur ce fil à des temps variables à volonté, à partir du moment où le contact de la pile et du fil est établi. La pile com-

munique avec la terre par son pôle négatif; elle touche par son pôle positif le fil de ligne, dont l'autre extrémité communique avec la terre en un autre point. Les contacts sont réglés par l'appareil que nous avons représenté page 111.

Quand le fil inducteur est entre le pôle positif de la pile et le fil télégraphique, le courant induit de fermeture présente, aux différents moments de la propagation du courant inducteur, des directions de sens contraires. Ainsi, 0,0002 de seconde après que le contact de la pile et du fil a été établi, le courant induit inverse donne 51° de déviation au galvanomètre; mais son intensité diminue rapidement et devient nulle quand ce contact a duré 0″,0016. Après cela, le courant inverse est suivi d'un courant direct de fermeture qui donne des déviations de 7°, 18°, 2° lorsque le contact de la pile et du fil a duré 0″,0010, 1″,0013, 0″,0027, 0″,0048.

Quand la bobine contient une armature de fer, les phénomènes sont les mêmes, avec cette différence que le passage du courant inverse au courant direct se fait après un temps plus long de 0″,0050.

Si on place le fil inducteur à l'extrémité opposée du long conducteur, entre ce fil et la terre, on observe de même un courant direct de fermeture succédant à un courant inverse quand les interruptions ont lieu entre le fil télégraphique et le fil inducteur; tandis qu'au contraire le courant de fermeture ne cesse pas d'être inverse lorsqu'on fait ces interruptions près de la pile.

Les courants de rupture sont toujours directs, à moins qu'on ne fasse passer la décharge du fil télégraphique dans le fil inducteur; mais il faut remarquer que dans ce cas on se place dans les conditions d'un courant induit de fermeture.

Apparition et disparition du magnétisme dans les électro-aimants. — On sait que les noyaux de fer des électro-aimants

mettent un certain temps avant d'être aimantés à saturation, et nous avons vu dans notre dernier volume, ainsi que dans notre étude du magnétisme, que ce temps est inversement proportionnel à l'intensité du courant électrique qui développe le magnétisme et dépend beaucoup de la masse de fer soumise à l'action électrique. Il était très-important de savoir si l'aimantation et la désaimantation se comportent d'une manière analogue, ou si ces deux effets suivent des lois différentes. Plusieurs savants, entre autres M. Ryke de Leyde, s'étaient déjà occupés de cette question; mais M. Beetz semble l'avoir résolue d'une manière tout à fait complète. Il est résulté en effet de ses savantes recherches :

1° Que la désaimantation s'opère beaucoup plus rapidement que l'aimantation ;

2° Que cette différence est surtout remarquable quand le noyau magnétisé est composé d'un faisceau de fils de fer fins; car alors la désaimantation est sensiblement instantanée, tandis que l'aimantation s'effectue dans les mêmes conditions que si le noyau magnétisé eût été en fer plein ;

3° Que le développement et la disparition du magnétisme doivent être attribués presque uniquement aux courants d'induction qui se développent tant dans l'hélice qui entoure le fer que dans le fer lui-même ;

4° Que cette influence prédominante des courants induits dans l'hélice se manifeste surtout si celle-ci est composée d'un grand nombre de tours ;

5° Que lorsque le fer doux dépasse de beaucoup l'hélice, la durée du développement du magnétisme dépend en grande partie de la vitesse avec laquelle s'opère la polarisation magnétique dans le sens longitudinal, et cette vitesse est à son minimum quand le fer doux est composé de disques de tôle superposés ou de limaille de fer.

Comme conclusion pratique, M. Beetz pense que puisqu'il n'y a qu'un faisceau de fils très-fins qui perde subitement le

magnétisme communiqué par l'hélice enveloppe, que puisque au contraire le noyau de fer solide ne prend pas et ne perd pas subitement l'aimantation induite, il faut bannir les noyaux de fer des chronoscopes et de tous les appareils dans lesquels une armature doit se mouvoir avec une promptitude et une régularité en quelque sorte absolue [1].

Distribution de la force magnétique dans les électro-aimants. — Nous avons démontré il y a déjà longtemps que les parties d'un noyau magnétisé les plus voisines de la surface extérieure étaient plus fortement aimantées que le centre du noyau ; mais il était important de savoir si la portion d'un noyau aimanté, dans le voisinage de sa section médiane, est plus aimantée ou moins aimantée que les portions avoisinant les extrémités. M. Muller, à la suite d'expériences assez précises, a démontré que l'aimantation la plus forte devait se produire au milieu de la longueur du noyau. Il en résulte que, dans les appareils d'induction, c'est sur le milieu de la bobine que le fil induit doit être le plus accumulé, et c'est sans doute la raison pour laquelle MM. Fabre de Lagrange et Poggendorff avaient proposé de construire les bobines d'induction avec la forme de fuseau. Nous devons dire en effet, pour être juste, que M. Fabre de Lagrange avait reconnu il y a longtemps cette répartition de la force magnétique, et l'avait expliquée de la manière suivante :

« Dans l'atmosphère magnétique d'un barreau aimanté, l'électricité qu'il est possible de recueillir est toujours en proportion de la somme des deux magnétismes combinés en *quantités égales*. Pour fixer les idées, si je représente dans un barreau droit par la série des chiffres 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, les tensions du magnétisme +, les tensions du magnétisme — seront représentées par les mêmes chiffres dans l'ordre renversé, 9, 8, 7, 6, 5, 4, 3, 2, 1. Or, l'électri-

1. Voir *Cosmos*, tome XIV, p. 442.

cité induite autour de ce barreau, à différents points également espacés et situés parallèlement à l'axe, sera comme les nombres 2, 4, 6, 8, 10, 8, 6, 4, 2, qui résultent de l'addition des quantités égales, autrement dit de la combinaison des équivalents du magnétisme + et du magnétisme — manifestés dans la section correspondante du barreau. Donc, la masse du fil destiné à recueillir le courant induit autour d'un aimant droit devra avoir la forme d'un losange ou être accumulée autour de la ligne neutre. Mais (résultat qui, de prime abord, paraît contradictoire), autour d'un aimant courbé en U, ce n'est plus autour de la ligne neutre, mais bien, près des pôles, qu'il faut accumuler le fil induit.

« On conclut aux mêmes formes, quand, au lieu de chercher la meilleure situation à donner au fil induit, on cherche la meilleure position à donner au fil inducteur, quand au lieu de transformer du magnétisme en électricité on transforme de l'électricité en magnétisme. »

Saturation magnétique. — Puisque, d'après la théorie d'Ampère, l'état magnétique des corps dépend de l'existence de courants circulaires autour des molécules dont ils suivent les mouvements, et que l'aimantation n'a d'autre effet que de diriger dans un même sens tous ces courants élémentaires en imprimant aux molécules pondérables des rotations autour de leur axe, il doit en résulter, si cette théorie est vraie, que si on donne aux parcelles d'une substance magnétique la facilité de se disposer *à priori* dans un arrangement magnétique, on doit obtenir des aimants *saturés*, c'est-à-dire possédant un tel degré d'aimantation permanente, qu'il est impossible d'y rien ajouter par l'influence de courants temporaires. C'est, en effet, à quoi est parvenu M. Beetz en précipitant le fer d'une dissolution ammoniacale de chlorure de fer ou de sulfate de fer par la méthode électrolytique, entre les pôles d'un puissant électro-aimant. Le

précipité formait des plaques qui avaient une forte polarité et en même temps la dureté de l'acier [1].

Ce dernier phénomène est, du reste, la conséquence de l'aimantation elle-même, car M. Ruhmkorff a démontré que quand un morceau de fer se trouve en contact avec le pôle d'un fort électro-aimant, il acquiert la dureté de l'acier et ne la perd qu'une fois désaimanté [2].

Quel rôle joue le magnétisme dans cette circonstance? Il est bien difficile de le préciser. Ce qui est certain, c'est que le magnétisme communique aux corps des propriétés toutes particulières qui en changent sous certains points la nature. Ainsi, M. Magnus a démontré que de la poudre de fer ou des fils du même métal qui, sous l'influence d'une source calorifique ne brûlent pas à l'air libre, se consument immédiatement lorsqu'ils se trouvent aimantés, soit sous l'influence d'un aimant, soit à l'intérieur d'une bobine magnétique [3].

Moyen de détruire la force coercitive du fer. — M. Cailletet, à la suite de recherches prolongées pour obtenir du fer entièrement exempt de force coercitive, est arrivé à conclure :

1° Que toutes les fois que le fer est allié à un corps étranger, il conserve après l'aimantation un magnétisme rémanent plus ou moins grand, suivant la quantité de fer entrant dans l'alliage;

2° Que le fer pur provenant, soit de la réduction du peroxyde de fer par l'hydrogène, soit de l'action électrolytique, est loin d'être exempt de ce magnétisme rémanent;

3° Que le fer à l'état cristallisé n'oppose qu'une résistance nulle ou insignifiante à la recomposition des fluides magnétiques séparés par l'aimantation.

Pour obtenir du fer dans cette dernière condition, si favo-

1. Voir *Cosmos*, tome XVIII, p. 312.
2. Voir *Cosmos*, tome XVI, p. 80.
3. Voir *Cosmos*, tome XIV, p. 539.

rable pour la construction des électro-aimants, M. Cailletet expose pendant quelque temps à la haute température des fours à souder, des plaques de fer du commerce courbées en forme de creuset aplati et très-évasé. Sous l'influence de la chaleur élevée et des gaz qui circulent dans le foyer, une partie du fer s'oxyde et réagit sur les matières qui pourraient altérer la pureté du métal, pendant que la haute température lui fait prendre la forme cristalline.

Ce fer a été essayé par M. Froment, qui en a reconnu la grande supériorité sur les fers ordinaires.

Moyen de détruire l'étincelle de l'extra-courant au moment de l'ouverture d'un circuit correspondant à un électro-aimant. — Nous avons décrit, dans le troisième volume de notre exposé (page 134), les moyens employés par MM. Dering, Masson et moi pour obtenir ce résultat. Ces moyens ont généralement bien réussi en prenant les précautions convenables; mais comme, avec ces systèmes, le courant n'est jamais interrompu, et qu'il pourrait arriver, avec des électro-aimants de faible résistance et des circuits mal équilibrés, que la désaimantation des électro-aimants ne fût pas complète, M. Foucault a cherché à compléter la solution du problème en faisant en sorte que l'extra-courant fût détruit avant que l'interruption du courant ne fût produite.

Pour cela, il dispose une bascule DC, fig. 28, de manière à correspondre par son centre d'oscillation avec l'un des bouts de l'hélice de l'électro-aimant M, et à pouvoir atteindre (lorsqu'elle se trouve abaissée vers le butoir D, sous l'influence de la pièce T) le ressort A mis en communication avec le fil de l'hélice M du côté de la pile P. Un second ressort B qui a sa course limitée par le butoir E, appuie d'ailleurs sur le bras D de cette bascule et l'accompagne dans sa course jusqu'à ce que celle-ci ait rencontré le ressort A. Après ce contact, si la pièce T abaisse toujours la bascule, le ressort B cesse de toucher le bras GD, et c'est alors que l'in-

terruption du courant est produite définitivement à travers l'électro-aimant; mais cette interruption n'est faite que sur

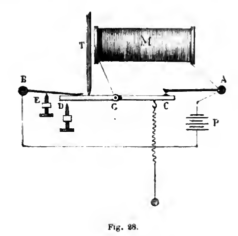


Fig. 28.

le circuit de la pile, car le contact de la bascule avec le ressort A a déchargé auparavant l'extra-courant produit au sein de l'électro-aimant M.

APPAREILS D'EXPÉRIMENTATION.

Nous avons consacré, dans le premier volume de notre *Exposé des applications de l'électricité,* un long chapitre aux rhéomètres et aux autres instruments d'expérimentation susceptibles d'être employés dans les applications électriques; ces appareils, comme une foule d'autres, ont été l'objet de nombreux perfectionnements dont nous allons nous occuper maintenant, car ils se rapportent aux lois des courants électriques sur lesquelles nous nous sommes étendus cette fois d'une manière toute particulière. Nous avons déjà exposé, dans notre *Revue des applications de l'électricité en* 1857 *et*

1858, les modifications apportées au rhéostat par MM. Caselli et Regnard, les balances rhéométriques de M. Regnard, les galvanomètres de M. Fabre, de Lagrange, et le réélectromètre de M. Marianini. Aujourd'hui, nous allons examiner les perfectionnements que M. Jacobi a apportés à la balance magnétique de M. Becquerel et au rhéostat, la disposition ingénieuse que M. Bréguet a donnée à la boussole des sinus, le pont de Wheatstone, etc., etc.

Balance magnétique. — La balance magnétique de M. Becquerel consiste, comme on le sait (voir l'*Exposé*, page 433, tome I), dans une balance très-sensible aux extrémités de laquelle sont suspendus verticalement deux barreaux aimantés mobiles à l'intérieur de deux hélices, lesquelles sont composées d'un très-grand nombre de spires. Ces hélices sont disposées de manière que le courant qui les traverse attire d'un côté l'un des barreaux à l'intérieur de l'hélice qui lui correspond, et repousse l'autre en dehors de la seconde hélice, afin que, les deux actions étant conspirantes dans le même sens, l'appareil soit plus sensible.

Cette disposition a paru vicieuse à M. Jacobi, en ce que les forces répulsives n'agissant pas de la même manière que les forces attractives, les conditions d'équilibre stable n'existent plus dans la balance. Pour remédier à cet inconvénient, M. Jacobi propose de n'employer qu'une seule des deux actions, la répulsion, en plaçant l'une des hélices au-dessus, l'autre au-dessous des barreaux aimantés. Par suite de cette disposition, cette dernière hélice se trouve alors traversée par la tige qui soutient suspendu le barreau aimanté au fléau de la balance. Malgré ce perfectionnement, M. Jacobi croit qu'il est nécessaire d'apporter aux nombres fournis par cet instrument une correction qui est la conséquence de la loi des carrés de la force du courant. Si k' représente l'intensité du courant véritable, k l'intensité du même courant mesurée par la balance, le rapport de k à k' serait donné, d'après ce

savant, par l'équation $k = k' - yk'^2$, y représentant un coefficient dépendant de l'instrument. M. Jacobi tire de cette équation :

$$k' = + \frac{1}{2y}(2 - 4ky);$$

mais j'ignore comment il a pu obtenir ce résultat, car l'équation précédente, qui est du second degré, donne :

$$k' = \frac{1 + \sqrt{1 - 4ky}}{2y}.$$

Pour la balance de M. Jacobi, la valeur de y était représentée par 0,00004228.

En appliquant la balance magnétique, disposée comme nous venons de le dire, à la détermination des constantes des piles de Grove et de Daniell, et en faisant les corrections que nous avons indiquées dans notre *Étude des lois des courants,* M. Jacobi a trouvé les résultats suivants :

Pour une résistance de :	La force du couple Daniell a été :	La force du couple Grove a été .
23,1	..... 0gr,380	.... 0gr,395
135,3	..... 0 ,097	...... 0 ,135

Avec ces chiffres on a, d'après les formules :

$$\frac{E}{R + 23,1} = 380; \qquad \frac{E'}{R' + 23,1} = 395;$$
$$\frac{E}{R + 135,3} = 97; \qquad \frac{E'}{R' + 135,3} = 135;$$

d'où l'on tire, d'après les calculs que nous avons indiqués : $E = 14610$; $R = 15,35$, $E' = 23000$; $R' = 35$; ou, en prenant des éléments de mêmes surfaces : $E = 14610$; $R = 15,35$; $E' = 23000$; $R' = 2,4$. C'est sur ces données que M. Jacobi a établi ses calculs pour la détermination de la puissance relative des éléments de Grove et de Daniell.

Agomètre de M. Jacobi. — L'invention du rhéostat peut aussi bien être attribuée à M. Jacobi qu'à M. Wheatstone ; car au moment même où ce dernier savant produisait son instrument, M. Jacobi arrivait de Russie avec les dessins d'un appareil très-analogue qu'il avait fait confectionner, mais qu'il n'avait pas, il est vrai, encore publié, parce qu'il se proposait de lui apporter d'importants perfectionnements. Effectivement, quelques années plus tard il fit connaître un nouvel instrument rhéométrique auquel il donna le nom d'*agomètre*, et publia à cette occasion, en 1848, un mémoire très-important intitulé : *Galvanische und electro-magnetische Versuche. Fünfte Reihe. Zweite Abtheilung : das Quecksilber, Voltagometer* (*Mémoires de l'Académie de Saint-Pétersbourg*). Le cadre que nous nous sommes imposé est trop restreint pour que nous publiions *in extenso* ce remarquable travail, mais nous allons en faire une analyse rapide.

Si on considère que dans le rhéostat de Wheatstone le fil qui s'enroule sur le cylindre de cuivre ne peut jamais avoir avec celui-ci un contact parfait, tant à cause de l'inégale tension des différentes spires du fil de résistance que par suite des poussières non conductrices qui peuvent s'interposer entre ce fil et le cylindre, on comprendra facilement que, pour des recherches délicates, on ne peut accorder à cet instrument qu'une confiance bien restreinte. Il s'agissait donc, pour donner aux indications de cet appareil une précision suffisante, d'établir un contact parfait entre le fil de résistance et la masse métallique destinée à dissimuler cette résistance au fur et à mesure de la diminution de longueur du fil. C'est à quoi M. Jacobi est parvenu en employant à cet effet le mercure et un fil de platine d'une grande résistance. Son appareil, auquel il a donné le nom d'*agomètre*, se compose donc essentiellement de deux tubes verticaux en fonte remplis de mercure et d'un écrou mobile muni de deux fils de platine, lesquels, en plongeant plus ou moins dans le métal

liquide, peuvent fournir une résistance plus ou moins grande. Pour mesurer cette résistance, l'écrou, guidé par une règle en cuivre et mis en mouvement par une vis sans fin que l'on tourne à l'aide d'une manivelle, est disposé de manière à se mouvoir devant une échelle graduée en millimètres ; il porte lui-même un vernier, de sorte qu'il est possible d'apprécier des résistances représentées par des fractions de millimètre. Les communications électriques sont établies par deux fils de platine adaptés d'une manière fixe au bâti de l'appareil et plongeant dans les tubes remplis de mercure. Deux vis de pression soudées à ces fils servent de points d'attache aux conducteurs du circuit.

Comme les fils de platine plongeant dans le mercure ne peuvent avoir une grande longueur, M. Jacobi dispose, l'un à côté de l'autre, deux appareils exactement semblables, et il peut de cette manière doubler la résistance susceptible d'être développée par chacun d'eux.

Au moyen de cet appareil, il a pu construire des bobines de résistance d'une exactitude parfaite, dont la résistance totale était équivalente à 42 kilomètres de fil de platine d'un millimètre de longueur, ou à 18,500 des unités de résistance introduites par lui, et qui sont généralement adoptées en Allemagne[1]. Une question importante restait à examiner : c'était celle de savoir si l'usage des étalons de résistance et le temps ne finissaient pas par altérer leur conductibilité. M. Jacobi a entrepris, à cet égard, cinq séries d'expériences de vérification, à cinq époques différentes, 1846, 1847, 1848 et 1858, et il a pu s'assurer que les variations de cette conductibilité avaient toujours été à peu près insignifiantes.

« Les indications de l'agomètre, dit M. Jacobi, sont plus que suffisantes dans la pratique, car les erreurs qu'elles pour-

1. D'après cette donnée, l'unité de M. Jacobi serait égale à 35 kilomètres de fil télégraphique.

raient présenter rentrent dans les limites admises pour les instruments de précision. Si un jour les besoins de la science réclament une plus grande exactitude à donner aux mesures de ce genre, elle ne pourra être obtenue : 1° qu'en opérant toujours à la même température et avec une intensité de courant dont on serait convenu d'avance, une fois pour toutes; 2° qu'en donnant aux multiplicateurs la plus grande sensibilité; 3° qu'en se rendant tout à fait indépendant des variations du magnétisme terrestre; 4° enfin, qu'en employant des moyens d'observation analogues à ceux introduits par MM. Gauss et Weber.

« N'ayant pas été en mesure de réaliser toutes ces conditions, il s'est trouvé que les observations faites sur les bobines les moins résistantes de l'agomètre ne s'accordent entre elles que jusqu'à la troisième décimale, tandis que la cinquième décimale peut être garantie dans la mesure des résistances mille fois plus grandes. »

Agomètre de M. Gounelle. — La disposition de l'agomètre de M. Jacobi ne permettant pas d'obtenir l'évaluation d'une grande résistance, M. Gounelle a cherché à combiner sur le même principe un appareil qui pût réunir aux avantages de l'appareil précédent ceux du rhéostat de Wheatstone, et il y est arrivé au moyen de la disposition suivante : B E, C D, fig. 29, sont deux fils de platine de très-petit diamètre, tendus horizontalement sur une longueur de 2 mètres environ et soutenus en C, D, E, B, par des colonnes isolantes. A est une petite caisse hermétiquement fermée, mobile sur une règle divisée en millimètres, et remplie de mercure. Cette petite boîte est percée de quatre trous capillaires à travers lesquels passent les deux fils de platine; de telle sorte que si les deux pôles d'une pile sont mis en rapport avec les extrémités B et C des fils B E, C D, il devient facile, en promenant la boîte A sur la règle, d'augmenter ou de diminuer la résistance du circuit. Or, comme par des expériences préalables

on peut savoir quelle augmentation de résistance de ce circuit correspond à un millimètre, il suffit de lire le numéro de la division devant lequel est arrêtée la boîte, pour connaître

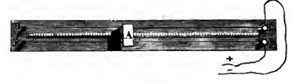


Fig. 29.

la résistance développée. Un vernier à lunette adapté à cette boîte permet d'ailleurs d'estimer, à un vingtième près, les fractions de millimètre.

On a objecté contre ce système, que les fils en passant à travers le mercure se recouvrent de petites bulles de ce métal, ce qui change les conditions de résistance des fils, et que le ménisque du mercure, aux trous capillaires, variant d'amplitude suivant les mouvements de la boîte dans un sens ou dans l'autre, change la position des points de clôture du circuit par rapport au vernier; mais ces inconvénients, avec un peu de soin, peuvent être évités. En effet, on peut, avant chaque opération, secouer un peu la boîte A, et les fils peuvent d'ailleurs être facilement essuyés au moment de l'expérience; on obtient du moins de cette manière un contact parfait entre les deux fils.

Agomètre de M. Ed. Becquerel. — Pour éviter les inconvénients des agomètres précédents, M. Ed. Becquerel a pris le mercure lui-même pour servir de mesure de résistance. Pour cela, il a disposé l'agomètre de la manière suivante :

AB, fig. 30, est un tube choisi avec soin, bien calibré et divisé sur verre en parties d'égale longueur; celui employé par lui avait un diamètre de $1^{\text{mill}},9025$. Ce tube est maintenu horizontalement sur un support, et son extrémité B est libre.

L'extrémité A pénètre dans un vase E D par une ouverture latérale A. Un tube de caoutchouc et deux supports H et G, dont on peut faire varier la hauteur, permettent d'atteindre ce but. Le vase E D, qui a une capacité de 80 à 100 centimètres cubes, est rempli de mercure distillé jusqu'à une

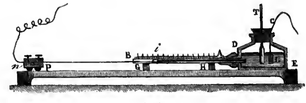


Fig. 30.

hauteur telle que la pression exercée par ce liquide puisse le forcer à pénétrer dans le tube. En vertu de cette pression, le mercure s'écoulerait en B si cette extrémité restait libre; mais pour éviter cet écoulement, un fil de cuivre de 1 millimètre de diamètre entouré de soie écrue et tiré droit est introduit dans le tube. Un petit chariot P maintient ce fil horizontal, et l'extrémité *i*, par laquelle celui-ci pénètre dans le tube, porte un petit tampon de fils de coton enroulés autour du fil de cuivre (qui a été corrodé légèrement afin de maintenir le coton lors du frottement). Il en résulte que B peut fonctionner comme piston dans l'intérieur du tube calibré et divisé, mais à frottement très-doux. Une longueur de 1/2 à 1/4 de millimètre de fil de cuivre dépasse le tampon de coton et est amalgamé. Par ce moyen, en faisant pénétrer avec la main le fil dans le tube ou en le retirant, et cela en accompagnant le mouvement par un léger soulèvement du support E P dans un sens ou dans l'autre, on fait varier la longueur de la colonne de mercure engagée dans le tube. Comme le mercure ne mouille pas le verre ni le coton, l'action capillaire s'oppose au passage du mercure entre l'extrémité *i* du tube

et le verre. Du reste, il faut éviter qu'il y ait excès de pression de la part du mercure dans le vase E D; si une petite bulle de mercure passait du côté B, on devrait retirer le fil et recommencer l'expérience. On opérant avec précaution, ce petit rhéostat à mercure a permis à M. Ed. Becquerel de faire varier la colonne de mercure A B dans des limites parfaitement déterminées, et il a pu se servir du mercure comme on sert d'un fil métallique.

« Quand on veut faire usage de cet appareil, dit M. Becquerel, une lame de platine ou de cuivre L plonge dans le mercure du vase et est mise en relation avec une des extrémités de l'un des circuits; l'autre extrémité de ce circuit est mise en rapport avec le fil *n*, recouvert de soie. Le passage de l'électricité se fait de ce fil dans le mercure par l'intermédiaire de la pointe *i* amalgamée, et, quand on opère, on a soin de faire plonger cette pointe en totalité dans le mercure, en faisant en sorte que l'extrémité de la colonne mercurielle soit toujours en contact avec la dernière couche de coton. La division marquée sur le verre (qui est divisé en millimètres) suffit pour donner la longueur de la colonne de mercure de l'appareil. Quant à sa température, elle est donnée par un thermomètre T, qui plonge dans le vase E D. On voit que cet appareil, d'un emploi simple, donne non-seulement le rapport des résistances à la conductibilité des fils, mais encore permet de les rapporter à la résistance du mercure distillé à une température déterminée. »

Pour de très-grandes résistances, M. Ed. Becquerel a disposé un appareil sur un principe analogue, mais en employant comme liquide mesureur une solution concentrée de sulfate de cuivre; il prend à cet effet un tube divisé en dixièmes de millimètre, dans lequel peut plonger verticalement, soutenu par un guide à frottement, un fil fin de platine recouvert de gutta-percha. Ce fil peut être abaissé plus ou moins, et la longueur de la colonne liquide comprise

entre l'extrémité de ce fil et une pointe de platine placée à la partie inférieure du tube donne la résistance qu'il s'agit de déterminer.

Rhéostat de M. Jacobi. — Afin d'éviter dans le rhéostat de M. Wheatstone les inconvénients résultant du mauvais contact du fil avec le cylindre de cuivre, M. Jacobi a réduit l'appareil à un simple cylindre de verre muni d'une rainure en hélice dans laquelle se trouve fixé à demeure le fil de résistance; et pour prendre sur ce cylindre telle longueur de fil nécessaire pour équilibrer les résistances qu'on peut avoir à mesurer, il fait appuyer sur ce fil un galet porté par un levier à ressort. Ce levier est lui-même adapté sur un écrou mobile qui avance en même temps qu'on fait tourner le cylindre, de telle manière que le galet peut suivre dans sa rainure le fil de résistance d'un bout à l'autre du cylindre, tout en restant fortement appuyé sur lui. On comprend facilement que cette disposition est infiniment supérieure à celle que nous avons décrite dans notre premier volume.

Du reste, l'un des plus grands inconvénients du rhéostat de Wheatstone résulte des contacts destinés à établir la communication entre le fil de l'appareil et le circuit, lesquels contacts ne peuvent s'exercer qu'à travers une couche d'huile plus ou moins épaisse, afin de ne pas faire obstacle à la marche de l'instrument. La résistance de cette couche d'huile peut varier considérablement, non-seulement d'un jour à l'autre, mais d'une expérience à une autre, suivant la partie des anneaux métalliques qui sont en contact avec les ressorts. J'ai cherché à détruire cet inconvénient en plaçant, à l'extrémité des cylindres du rhéostat, des disques de fer plongeant dans de petites auges remplies de mercure. Afin d'empêcher les poussières de former autour de ces disques une gaîne isolante, je recouvre le mercure d'une couche d'alcool.

Boussole des sinus de M. Bréguet. — L'instrument le plus pratique et le plus commode pour mesurer les intensités des courants est, sans contredit, la boussole des sinus. Mais tel qu'il est établi généralement par les physiciens, cet instrument ne peut être employé que pour mesurer de forts courants. Quand ces courants sont faibles ou qu'ils se trouvent amoindris par leur passage à travers de fortes résistances, comme cela a lieu dans la plupart des applications électriques, il ne peut donc être d'aucun secours, et, pour le

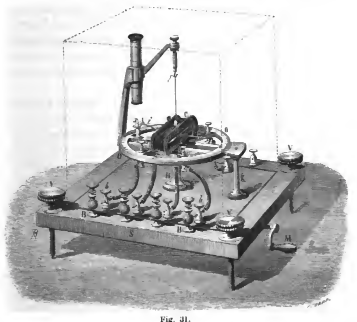


Fig. 31.

rendre alors applicable, il est nécessaire de lui adapter un multiplicateur. C'est précisément ce qu'a fait M. Bréguet dans la boussole qu'il a imaginée et que nous représentons ci-dessus (fig. 31).

Cette boussole n'est rien autre chose, comme on le voit, qu'un simple multiplicateur C fixé sur un cercle gradué horizontal OO, et dont l'aiguille est suspendue à un fil de cocon. Cette aiguille porte, placée en croix sur elle, une longue tige de verre ou d'aluminium, dont une des extrémités *i* oscille entre deux pointes placées sur un petit support en ivoire *x* muni d'une ligne de repère. Le cercle horizontal lui-même peut, au moyen d'un engrenage et d'une manivelle M placée en dehors de l'appareil, tourner autour de son axe et se mouvoir devant un vernier fixe K sur lequel on peut lire facilement les arcs décrits par la boussole. Enfin une lunette munie d'un réticule permet d'apprécier exactement quand la tige *i* de l'aiguille est à zéro, et le tout est recouvert d'une cage en verre qu'il n'est pas besoin de retirer pour faire les expériences.

On comprend facilement les nombreux avantages de cette disposition. D'abord le mouvement du cercle peut se produire facilement et sans secousse sur un arc très-étendu, et cela pendant qu'on a l'œil à la lunette. D'un autre côté, celle-ci permet d'apprécier avec un très-grand degré de précision la position d'équilibre de l'aiguille, et enfin l'agitation de l'air dans le voisinage de l'instrument ne peut exercer aucune influence fâcheuse sur les indications, grâce à la cage de verre qui recouvre le tout. Le multiplicateur peut, d'ailleurs, être multiple et être disposé pour plusieurs degrés de sensibilité de l'appareil; il peut même être combiné de manière à servir de galvanomètre différentiel.

Il restait à savoir comment les indications fournies avec cet appareil pouvaient être interprétées, par rapport aux formules d'Ohm; car il est évident que si l'on ne tenait pas compte, dans les formules, du nombre de tours du multiplicateur, l'augmentation d'intensité due à la multiplication des spires pourrait se trouver faussement appliquée, et, dès lors, les résultats fournis par des appareils différents ne se-

raient plus comparables. Je me suis occupé longuement de cette question, et, dans un mémoire présenté à l'Institut le 11 février 1861, j'ai démontré que, dans le cas de l'emploi des boussoles à multiplicateurs, la formule d'Ohm $I = \frac{E}{R + r + \rho}$ devenait $I = \frac{E}{R + r + \rho} \times \frac{t}{d^2}$, t représentant un coefficient en rapport avec le nombre de tours du multiplicateur, d un autre coefficient dépendant de l'éloignement moyen de ces tours à l'aiguille de la boussole. Par rapport à une boussole prise pour terme de comparaison, la valeur de ce double coefficient est facile à déterminer, car elle est donnée par la formule :

$$\frac{I'' I''' (I - I')}{I I' (I'' - I''')}.$$

I, I' représentant les intensités fournies par la boussole type avec deux résistances différentes du circuit; I'', I''' représentant les intensités de la seconde boussole avec les mêmes résistances.

Du reste, ce coefficient, que nous désignerons pour plus de simplicité par la lettre t, n'intervient pas toujours dans les formules. Ainsi, dans les déterminations des constantes voltaïques, il ne figure que dans l'expression donnant la valeur de la force électro-motrice qui est : $E = \frac{I I' (r' - r)}{t (I - I)}$ au lieu de $\frac{I I' (r' - r)}{I - I'}$ [1].

Boussole des tangentes de M. Gaugain. — Nous avons déjà parlé de cette boussole, qui n'est autre qu'une boussole des tangentes dans laquelle l'aiguille aimantée est placée en

1. Voir mon mémoire sur les constantes voltaïques, *Annales télégraphiques*, tome IV, page 166, et *Mémoires de la Société des sciences naturelles de Cherbourg*, tome VIII, page 209.

dehors du cercle par lequel passe le courant, et au quart de la longueur du rayon de ce cercle. Nous avions dit que cette boussole permettait de déduire les intensités du courant d'après les tangentes des angles de déviation. Mais M. Jacobi a démontré qu'il fallait faire subir à ces indications une correction qui varie suivant les différents angles, et qui est indiquée dans un long article inséré dans les *Annales télégraphiques*, tome III, page 256. M. Jacobi, du reste, a apporté à cette boussole une modification importante en divisant le cadre en deux parties situées symétriquement des deux côtés de l'aiguille; elle forme ainsi deux troncs de cône dont le sommet commun est au centre de l'aiguille. Cette disposition a l'avantage d'annuler les erreurs qui peuvent provenir de la mauvaise installation de l'aiguille.

Boussole thermométrique de M. Bréguet. — La chaleur, développée par un courant circulant dans un même circuit, étant en quelque sorte proportionnelle à l'intensité de ce courant, on a pensé à appliquer cette propriété à la mesure des courants, en les faisant passer à travers un thermomètre à spirale métallique de M. Bréguet. Ces thermomètres sont, comme on le sait, excessivement sensibles, et les moindres différences de température sont indiquées. Nous croyons, toutefois, que ce moyen n'est réellement applicable qu'avec des courants un peu intenses.

Pont de Wheatstone. — Cet appareil, aujourd'hui fréquemment employé pour la mesure des résistances, se composait, dans l'origine, d'un losange métallique ADCB, fig. 33, dont les deux lames AC, CD se trouvaient interrompues en *ab*, *ci*. Des bornes d'attache étaient placées aux points A, D, B, C, *a*, *b*, *c*, *i*, et communiquaient les unes, A et C, à une forte pile, les autres, D et B, à un galvanomètre G, et les quatre autres avec la résistance inconnue T et un rhéostat R. Avec une semblable disposition, il s'établit une double dérivation à travers le galvanomètre G, et, pour que celui-ci reste à zéro, il suffit que

la résistance interposée sur le côté AB du losange soit égale à la résistance T interposée sur la branche CB. Par conséquent,

Fig. 32.

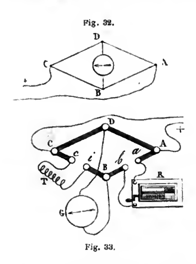


Fig. 33.

si cette dernière est inconnue, elle se trouve indiquée par celle qu'il faut développer sur le rhéostat pour ramener à zéro le galvanomètre.

Toutefois, il est facile de voir qu'avec cet arrangement le courant pourrait passer presque entièrement par les branches AD, DC du losange, si les résistances R et T étaient un peu considérables. Or, pour rendre cet appareil applicable à la mesure de grandes résistances, M. Siemens a cherché à rendre variable la résistance de ces branches AD, DC, en y interposant des séries de bobines susceptibles d'être introduites en plus ou moins grand nombre dans le circuit, à l'aide d'un commutateur. Il dispose, à cet effet, les appareils comme on le voit fig. 34.

A est un commutateur à chevilles communiquant avec 3 bobines de résistance représentant 10, 100 et 1000 de ses

unités. B est un second commutateur exactement semblable au précédent, et ces deux commutateurs communiquent, d'un côté, avec le pôle + de la pile P; de l'autre, avec la résistance inconnue φ, le galvanomètre G et un rhéostat X, muni

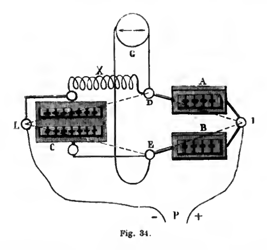


Fig. 34.

de son commutateur à bobines de résistance C. Le galvanomètre G a d'ailleurs un multiplicateur de 22,600 tours et présente une résistance de 7,160 unités. Pour déterminer la valeur de la résistance X, il suffit de calculer la résistance développée sur le rhéostat pour ramener à zéro le galvanomètre G, et de faire entrer cette donnée dans l'équation $\frac{CD}{CB} = \frac{AD}{AB}$; CD et AD représentant les résistances connues, CB représentant la résistance inconnue, enfin AB la résistance du rhéostat.

La démonstration de cette équation est, du reste, facile. En effet, pour que l'électricité ne circule ni de D vers B, fig. 32, ni de B vers D, malgré le conducteur qui se trouve interposé entre ces deux points, il faut que la tension soit la

même en D qu'en B. Or, soit u_1 cette tension commune, u_0 la tension en A, et u_2 la tension en C.

Par la raison que la perte est nulle en B (le courant ne passant pas), les choses se passent comme si le conducteur était isolé en B, de sorte qu'on peut poser :

$$u_2 - u_0 : u_1 - u_0 :: \mathrm{ABC} : \mathrm{AB}.$$

proportion dans laquelle :

$$(u_2 - u_0) - (u_1 - u_0) : u_1 - u_0 :: \mathrm{ABC} - \mathrm{AB} : \mathrm{AB},$$

ou :

$$\frac{u_2 - u_1}{u_1 - u_0} = \frac{\mathrm{BC}}{\mathrm{AB}}.$$

On obtiendrait de même :

$$\frac{u_2 - u_1}{u_1 - u_0} = \frac{\mathrm{CD}}{\mathrm{AD}};$$

donc :

$$\frac{\mathrm{CD}}{\mathrm{AD}} = \frac{\mathrm{BC}}{\mathrm{AB}} \quad \text{ou} \quad \frac{\mathrm{CD}}{\mathrm{BC}} = \frac{\mathrm{AD}}{\mathrm{AB}}.$$

Par conséquent, si AB est la résistance cherchée, BC la résistance développée sur le rhéostat, on aura :

$$\mathrm{AB} = \frac{\mathrm{AD}}{\mathrm{CD}} \times \mathrm{BC}.$$

M. Siemens prétend qu'avec cette méthode on peut mesurer des résistances depuis 0,01 jusqu'à 1,000,000 d'unités, avec le même degré d'exactitude.

On a proposé encore dernièrement plusieurs autres méthodes pour mesurer la résistance des conducteurs, parmi lesquelles nous citerons celle de M. Van der Kolk, basée sur les variations de l'intensité du courant, par suite de dériva-

tions qu'on introduit dans le circuit[1]. Mais nous croyons que la plus simple et la plus sensible est toujours celle fondée sur l'emploi du galvanomètre différentiel.

Galvanomètres différentiels. — Le choix des galvanomètres différentiels pour la mesure de la résistance des circuits n'est pas indifférent, comme on serait porté à le croire en ne considérant que l'action produite dans ces instruments; leur degré de sensibilité doit être en effet proportionné à la résistance des circuits sur lesquels on les interpose, et si on néglige cette considération, il serait possible que des variations importantes de résistance de ce circuit pourraient ne pas être révélées. Cela vient de ce qu'en augmentant le nombre de tours du multiplicateur du galvanomètre différentiel, on augmente en même temps la résistance du circuit. et si cette augmentation de résistance, que nous appellerons ρ, devient de beaucoup supérieure à la résistance du circuit lui-même r, cette dernière et, à plus forte raison, les variations qu'elle peut fournir, s'effacent devant la première, et sont à peine accusées par le galvanomètre.

Si l'on considère maintenant que l'intensité électrique, dans chacun des circuits du galvanomètre différentiel, est représentée par la formule :

$$I = \frac{tnE}{2nR + \rho + r},$$

on comprendra facilement que le maximum de cette intensité par rapport à r aura lieu quand $(2nR + \rho)$ sera égal à r. Par conséquent, pour qu'un galvanomètre différentiel soit dans les meilleures conditions possibles pour la mesure des résistances des circuits, il faut que la résistance de chacun de ses fils soit un peu au-dessous de celle du circuit dont il s'agit d'estimer la résistance, et cette résistance doit être

1. Voir *Presse scientifique des Deux Mondes*, année 1861, tome I.

même d'autant moindre que le nombre des éléments de la pile est plus considérable.

Rhéomètres voltamétriques. — Si l'on considère que la quantité de métal déposé dans un voltamètre est proportionnelle à l'intensité du courant transmis, on comprend qu'en partant d'une unité comme celle adoptée par M. Marié Davy, il devient facile d'employer les appareils à décomposition chimique comme rhéomètres. L'avantage de cette combinaison est facile à saisir, si l'on considère que les effets chimiques pouvant s'accumuler avec le temps, certaines réactions qui pourraient être insensibles avec les rhéomètres ordinaires se manifesteraient immanquablement avec les procédés électro-chimiques, et pourraient être d'autant plus sensibles que le courant aurait exercé plus longtemps son action. Voici un exemple où ce système a été employé avec un avantage bien marqué.

Par les temps secs il est très-difficile, comme on le sait, de constater avec des boussoles, sur une ligne télégraphique de peu d'étendue, les dérivations de courant par les poteaux : avec les voltamètres, cela devient très-possible. Ainsi, M. Marié Davy, ayant placé aux deux extrémités d'un même fil, allant de Paris à Saint-Cloud, deux voltamètres sensibles, a pu s'assurer, après huit jours d'un courant continu et par un temps toujours beau, que le voltamètre de Paris avait déposé plus de métal que le voltamètre de Saint-Cloud, dans la proportion de 4,325 à 4,147, c'est-à-dire dans le rapport de 1,043 à 1. Or, cette différence ne pouvait provenir que des pertes du courant par les dérivations, pertes qui avaient rendu ce courant un peu plus énergique à la station où était la pile, et un peu moins intense à l'autre station. Maintenant, il est facile de voir que cette différence (4,325 — 4,147), qui est 0,178, représente l'intensité du courant passant par les dérivations; car, d'après les formules des courants dérivés, la première intensité 4,325 étant représentée par une

formule de la forme $\frac{nE(a+b)}{nR(a+b)+ab}$, et la seconde par $\frac{nEa}{nR(a+b)+ab}$, la différence de ces deux valeurs est $\frac{nEb}{nR(a+b)+ab}$, expression qui est précisément celle du courant passant par les dérivations. Ainsi, la perte due aux dérivations par un temps sec est, d'après l'expérience de M. Marié Davy, représentée par $\frac{0,178}{4,325}$ ou par la vingt-cinquième partie environ du courant transmis. Ce chiffre est un peu considérable, mais la ligne de Paris à Saint-Cloud est une ligne déjà ancienne, et par conséquent moins bien isolée que les lignes nouvelles; et il ne faut d'ailleurs pas perdre de vue que les chiffres précédents sont le résultat d'un travail de jour et de nuit; or, on sait que les dérivations pendant la nuit sont toujours assez considérables, à cause de la rosée qui se dépose sur les supports.

Pour terminer avec les appareils d'expérimentation, je rappellerai qu'on a employé avec succès, pour la mesure approximative de l'intensité des courants alternativement renversés des grandes machines magnéto-électriques, les effets calorifiques produits sur des fils de fer de petit diamètre. Quand il s'agissait de mesurer cette intensité sous le rapport de la tension du courant, on cherchait sur quelle longueur les fils pouvaient être rougis au rouge sombre; quand il s'agissait au contraire de mesurer cette intensité sous le rapport de la quantité, on cherchait en quel nombre ces fils pouvaient être rougis sur une longueur donnée.

III

TÉLÉGRAPHIE ÉLECTRIQUE.

Les progrès apportés à la télégraphie électrique depuis la publication de notre dernier volume ont été importants, quoique n'ayant été signalés par aucune découverte nouvelle quant au principe. Le télégraphe imprimeur de Hughes et le télégraphe autographique de M. Caselli ont atteint en effet, dans ces dernières années, un tel degré de perfection qu'ils ont démontré jusqu'à la dernière évidence que non-seulement le problème de l'impression littérale des dépêches pouvait être résolu pratiquement, mais encore que l'emploi de ces moyens présentait sur les autres des avantages incontestables pour la transmission rapide des dépêches, chose qu'on était loin de soupçonner dans l'origine. D'un autre côté, les télégraphes magnéto-électriques, qu'on regardait également comme des instruments théoriques et nullement applicables, sont devenus des appareils d'un usage quotidien dans plusieurs pays, et qui se répandront évidemment de plus en plus, à mesure que les préjugés et la routine seront obligés de reculer devant l'évidence. Il est réellement intéressant et curieux, pour celui qui considère sans prévention les progrès des sciences et de leurs applications, de voir ces différentes transformations qui, d'une invention de peu

d'importance dans l'origine, en font une découverte remarquable au grand ébahissement de ceux qui l'avaient décriée et au grand étonnement du public qui croit voir une chose complétement nouvelle.

Conformément à la méthode que nous avons suivie dans nos précédents volumes, nous étudierons les progrès apportés depuis quatre ans aux appareils télégraphiques, en les rapportant à cinq classes : les télégraphes à cadran, les télégraphes à aiguilles, les télégraphes écrivants, les télégraphes autographiques et les télégraphes imprimeurs.

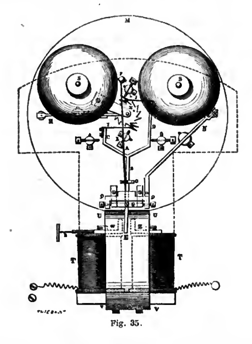
Télégraphes à cadran.

Les perfectionnements qu'on a apportés dans ces dernières années aux télégraphes à cadran ont été introduits particulièrement en vue de les soustraire aux inconvénients d'un réglage fréquent et de les appliquer aux courants induits des machines d'induction. Les heureux résultats que M. Wheatstone avait obtenus de la suppression des mécanismes d'horlogerie dans les récepteurs, par la réduction des dimensions des pièces mises en jeu, ont provoqué également beaucoup de recherches dans le même sens, et, à force de perfectionnements, on en est revenu aux appareils primitifs de démonstration, qu'on regardait, il y a quelques années, comme l'enfance de l'art.

Télégraphe de M. Siemens. — Ayant déjà décrit, page 599 de notre dernier volume, l'appareil de M. Wheatstone, nous commencerons la description des appareils de ce dernier genre par celui de Siemens, qui fonctionne de la manière la plus remarquable à une distance de près de 500 kilomètres, avec le simple courant d'une machine magnéto-électrique.

La figure 35 ci-contre représente le récepteur de cet appareil : x est une roue d'échappement à rochet de très-petit diamètre, munie de treize dents et portant sur son axe l'ai-

guille indicatrice qui se meut sur le cadran M, placé derrière la planche sur laquelle est monté le mécanisme précédent ;


Fig. 35.

DCBE est une fourchette d'échappement oscillant en G, et portant deux cliquets à ressort, I, J, réagissant sur la roue à rochet et dont le recul se trouve limité par deux vis butoirs, K, L; enfin TT est un système électro-magnétique particulier, du genre de celui que nous avons décrit page 181 de notre tome IV, et qui est composé d'un électro-aimant TT, sur la culasse duquel se trouve adapté un aimant en fer à cheval VU, que l'on voit sur la figure du côté de sa courbure et qui présente ses deux pôles en V et en U. W et Z sont deux pièces de fer placées sur les pôles de l'électro-aimant pour les rap-

procher l'un de l'autre, et dont l'une peut être avancée ou reculée à l'aide de la vis R. Tout le reste du mécanisme se rapporte à la sonnerie, et nous en parlerons à l'instant. Voici maintenant le jeu de ce récepteur.

Quand le courant envoyé à travers la ligne passe dans l'électro-aimant TT, dans un certain sens, l'armature GE, sur laquelle est fixée la fourchette DBGC, s'incline vers l'un des pôles de l'électro-aimant TT; car étant polarisée par le pôle UU de l'aimant fixe, elle doit être attirée par l'un des pôles de l'électro-aimant, et en même temps repoussée par l'autre pôle : ce sera, je suppose, vers W. Sous l'influence de ce mouvement, le cliquet I aura fait avancer d'un cran la roue x, mais une dent seulement aura pu sauter, car le butoir K, par sa réaction sur le bec du cliquet, s'opposerait au passage d'une seconde dent. Quand le courant aura cessé de circuler à travers l'électro-aimant, l'armature GE restera inclinée du côté où elle a été attirée, car, le pôle W de l'aimant fixe polarisant alors uniformément les deux pôles de l'électro-aimant, la réaction se trouve maintenue; mais aussitôt que le courant sera envoyé en sens contraire, le pôle W, qui avait d'abord attiré, va exercer maintenant une action répulsive, et le pôle Z va attirer à son tour l'armature GE, de telle sorte que la fourchette DBC, étant inclinée en sens contraire, fera réagir le cliquet J, qui fera à son tour avancer d'une dent le rochet. Ainsi, pour chaque émission du courant dans un sens ou dans l'autre, le rochet x saute d'une dent, et pour 26 émissions alternatives du courant, l'aiguille dont est munie ce rochet peut occuper sur le cadran 26 positions correspondantes aux 26 lettres de l'alphabet. Sans doute, au moyen d'un électro-aimant ordinaire, on aurait pu résoudre le problème de la même manière; mais comme l'appareil précédemment décrit est destiné à fonctionner avec des courants induits qui *sont instantanés*, il fallait nécessairement une disposition électro-magnétique particulière qui

pût maintenir l'effet produit par chaque courant après sa disparition.

Pour obtenir la mise au repère de l'appareil, M. Siemens place sur la roue à rochet une cheville x qui, en rencontrant l'extrémité d'une bascule à ressort H, que l'on abaisse du dehors, empêche le fonctionnement de la roue x, malgré les mouvements de la fourchette BCD.

Quant à la sonnerie, elle se compose de deux timbres S, S, sur lesquels frappe le marteau P, lorsque la fourchette O, fixée sur l'armature GE, peut saisir la tige de ce marteau. Or, cette fourchette ne peut remplir cette fonction que quand une bascule N, que l'on manœuvre du dehors, incline convenablement la pièce QQ.

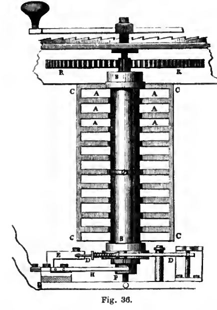


Fig. 36.

La figure 36 représente la coupe du manipulateur. AAA, etc.,

sont une série d'aimants droits placés à distance les uns des autres et réunis par leurs pôles de mêmes noms au moyen d'une semelle de fer CC; ils sont vus par le bout sur la figure. BB′ est un cylindre de fer doux sur lequel l'hélice magnétisante est enroulée dans le sens de sa longueur. A cet effet, une large rainure se trouve évidée dans ce cylindre de fer, suivant ses génératrices opposées, de manière à former tout autour de lui comme un cadre de galvanomètre, et c'est dans cette rainure que se trouve enroulée l'hélice induite, qui se trouve par précaution recouverte d'une lame de cuivre. Il résulte de cette disposition que le cylindre ne présente en dehors que deux lames de fer séparées par deux lames de cuivre, et les extrémités de ces quatre lames sont solidement réunies par deux viroles de cuivre sur lesquelles sont fixés les pivots constituant l'axe de rotation du cylindre. Cet axe porte en B un pignon qui engrène avec une roue R, dont l'axe correspond à une manivelle qui se meut autour d'un cadran. En B′ se trouve un anneau muni d'une camme qui, dans une certaine position du cylindre, provoque un contact métallique entre le levier DD et la pièce E, où aboutit le fil de ligne, et qui est d'ailleurs isolée de la plaque support P par une semelle en caoutchouc durci. Enfin, un anneau sur lequel appuient deux ressorts H, fixés sur la pièce E, communique avec l'une des extrémités de l'hélice magnétisante, tandis que l'autre extrémité de cette hélice aboutissant à la virole B′ se trouve mise en rapport avec la plaque P, laquelle communique d'ailleurs avec la terre.

Le rapport des dents de la roue R avec le pignon B est tel que, quand la manivelle avance, sur le cadran autour duquel elle se meut, d'un 26ᵉ de sa circonférence, c'est-à-dire de l'intervalle d'une lettre à l'autre, le cylindre BB′ a fait une demi-révolution sur lui-même. Or, comme pour chaque demi-révolution de ce cylindre, une des lames de fer dont il est muni s'approche de l'une des séries d'aimants AAA, alors

que l'autre lame s'éloigne de l'autre série, et cela d'une manière opposée, pour deux demi-révolutions successives, il arrive que deux courants induits de sens contraire prennent naissance pour chaque révolution du cylindre, et par conséquent pour chaque intervalle de deux lettres. Il suffit donc de tourner la manivelle autour du cadran, et de l'arrêter successivement devant les lettres qu'il s'agit de transmettre, pour obtenir la rotation saccadée de l'aiguille du récepteur qui doit désigner les lettres de la dépêche. C'est pour introduire les récepteurs dans le circuit de ligne, alors que les manipulateurs sont au repère, qu'a été adapté le levier interrupteur DD.

Si on analyse avec soin la disposition du télégraphe que nous venons de décrire, on voit que tout est combiné de manière à ce que l'action électrique s'effectue dans son maximum de force. Ainsi les cliquets IJ, exerçant leur action normalement au rayon de la roue à rochet, exigent moins de force, pour produire un effet donné, que quand la rotation du rochet doit s'effectuer par suite du glissement des becs de la fourchette sur le dos des dents de ce rochet, effet dans lequel la force est obligée de se décomposer. D'un autre côté, des lames aimantées, placées à distance les unes des autres, comme dans l'aimant du manipulateur, donnent au faisceau aimanté une plus grande force que des lames réunies au contact; car, quoi qu'on fasse, ces lames ne pouvant jamais rester aimantées à saturation, la réaction réciproque de leurs pôles magnétiques sur leur magnétisme libre s'effectue au détriment de la force magnétique du faisceau.

Dans ses derniers appareils, M. Siemens s'est appliqué à réduire considérablement les dimensions du récepteur, qu'il a séparé du transmetteur et de la sonnerie, et il a adapté au manipulateur un mécanisme qui empêche la manivelle de rétrograder. La précision de ce mécanisme est telle qu'il est impossible d'obtenir de la part de cette manivelle un jeu de

plus de 1/2 millimètre. Cet effet est obtenu à l'aide de trois pièces arquées qui appuient sur la circonférence d'un disque métallique adapté sur l'axe de la roue R et qui forment arcboutant quand le mouvement du disque s'effectue en sens contraire de son mouvement normal. Ces freins jouent en quelque sorte le rôle d'un encliquetage Dobo. Enfin, au moyen d'engrenages à dents inclinées, M. Siemens a rendu la manipulation de ce télégraphe relativement assez douce.

Télégraphe de M. Henley. — Le nouveau télégraphe magnéto-électrique de M. Henley est peut-être encore plus simple que le précédent, en ce sens que c'est l'armature elle-même de l'électro-aimant du récepteur qui constitue la fourchette d'échappement destinée à faire tourner l'aiguille. A cet effet cette armature, qui est aimantée, oscille en O (fig. 37), autour

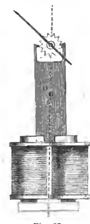


Fig. 37.

d'un pivot qui la maintient suspendue entre les pôles prolongés d'un électro-aimant E, et se trouve taillée à l'une de ses extrémités en forme de fourchette.

Le manipulateur consiste dans un fort aimant persistant

NS (fig. 38), entre les branches duquel est fixé un électro-aimant E, qui reçoit son aimantation par l'intermédiaire

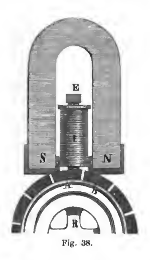


Fig. 38.

d'armatures de fer A, B, C, etc., disposées autour d'un cylindre R que fait tourner une manivelle. Ces armatures sont disposées sur deux rangées, de manière à correspondre aux deux pôles de l'électro-aimant, et sont au nombre de 13 pour chaque rangée; seulement elles s'alternent d'une rangée à

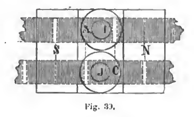


Fig. 39.

l'autre, afin que quand l'une d'elles, A (fig. 39), par exemple, transmet à la branche supérieure I de l'électro-aimant le

magnétisme du pôle S, l'armature C de la rangée du dessous (qui est indiquée en pointillé sur la figure) puisse transmettre à la branche inférieure J de l'électro-aimant le magnétisme du pôle N. Il résulte de cette disposition que chaque couple d'armatures, en passant devant l'électro-aimant E, détermine dans celui-ci une aimantation et une désaimantation qui ont pour effet la création de deux courants induits inverses, qu'on peut utiliser pour faire accomplir à la fourchette d'échappement du récepteur une double oscillation, et par conséquent pour faire tourner l'aiguille indicatrice de l'intervalle de deux lettres. Un tour complet du cylindre portant les 13 paires d'armatures peut donc faire accomplir à cette aiguille un tour complet du cadran.

Dans le système de M. Henley, les récepteurs des deux stations en correspondance doivent être introduits en même temps dans le circuit de ligne, et il pourrait dès lors être inutile de placer sous la manivelle du manipulateur un cadran, car l'aiguille du récepteur correspondant suit exactement tous les mouvements de cette manivelle; néanmoins M. Henley a cru devoir ajouter ce cadran à son appareil, et pour que les indications des lettres fussent plus faciles, il l'a placé au-dessus de la manivelle, laissant à une aiguille indicatrice, établie sur l'axe du cylindre tournant, le soin de désigner les lettres successivement transmises. Néanmoins, comme avec ce système il n'y a pas de crans pour servir d'arrêt à la manivelle, il faut une certaine habitude pour ne pas la laisser dépasser la position qu'elle doit avoir pour le signalement de la lettre qu'on veut transmettre.

Ce télégraphe, comme celui de M. Siemens, fonctionne sans réglage et avec une vitesse aussi grande ou aussi petite qu'on peut le désirer. Avec des circuits sans résistance, il n'est même pas possible de tourner le manipulateur assez vite à la main pour faire dévier les aiguilles de la position qu'elles doivent avoir. C'est certes un résultat qu'on n'aurait

guère osé espérer il y a quelques années, et qui est dû à la perfection de l'ajustement, à la diminution de volume des pièces mobiles du récepteur et à l'emploi mieux entendu des courants.

Télégraphe de M. Wylde. — Ce télégraphe, décoré pompeusement du nom de *télégraphe du globe*, parce que le récepteur est renfermé dans une petite sphère représentant le globe terrestre, n'est qu'une variation du télégraphe précédent, qui n'a d'autres avantages qu'une assez grande simplicité de construction dans le transmetteur. Ce transmetteur, en effet, se compose de deux faisceaux aimantés NS, N'S' (fig. 40) placés parallèlement l'un à côté de l'autre et sur les

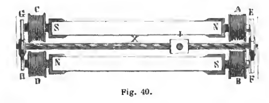


Fig. 40.

pôles desquels sont fixés les électro-aimants droits A, B, C, D. Deux systèmes d'armatures EF, GH, composés chacun de deux lames de fer doux disposées en croix, sont fixés aux extrémités d'un axe X muni d'un pas de vis allongé et qui peut tourner sur deux coussinets. Un écrou I mobile, engagé dans le pas de vis de cet axe, et que l'on peut faire manœuvrer du dehors de l'appareil au moyen d'un manche passant à travers une rainure, peut, étant poussé à gauche ou à droite, communiquer un mouvement de rotation à l'axe X, et par suite, aux armatures EF,GH, qui déterminent dans les bobines A,B,C,D une série de courants induits inverses dont le nombre est en rapport direct avec la distance dont l'écrou I s'est déplacé. Il en résulte que si les différentes lettres de l'alphabet sont disposées les unes à la suite des autres le

long de la rainure par laquelle sort le manche de l'écrou I, et sont distantes les unes des autres de la longueur voulue pour que chaque armature au passage de l'écrou I d'une lettre à la suivante accomplisse un quart de révolution, on pourra, en faisant voyager le manche de cet écrou devant ces différentes lettres, obtenir le nombre de courants induits nécessaire à leur transmission, à la condition toutefois que l'écrou sera toujours poussé dans le même sens. Mais comme cette marche de l'écrou ne peut être indéfinie, et qu'après avoir passé devant toutes les lettres de l'alphabet, il est obligé de revenir sur ses pas, ce qui détermine un mouvement en sens contraire de l'axe X, et par suite, l'émission de nouveaux courants induits, les différentes lettres de l'alphabet se trouvent répétées de l'autre côté de la rainure dont nous avons parlé, dans un ordre inverse à leur ordre primitif, et il en résulte que si un tour de l'aiguille sur le cadran du récepteur a été la conséquence du voyage de l'écrou de gauche à droite, un nouveau tour de la même aiguille sera la conséquence du retour de l'écrou à son point de départ; par conséquent, les différentes lettres de l'alphabet entrant dans une dépêche devront être choisies dans l'un ou l'autre des deux alphabets, suivant qu'elles précèderont ou suivront la dernière lettre transmise. Pour rendre cette manœuvre plus facile, de petits trous ont été faits devant ces différentes lettres, et on introduit une petite tige métallique munie d'un manche dans celui de ces trous qui correspond à la lettre que l'on veut transmettre. Cette tige ainsi placée sert de butoir d'arrêt à l'écrou voyageur, qui peut alors accomplir ses déplacements sans hésitation.

Le récepteur correspondant à ce manipulateur se compose de deux roues à rochet R et R′ (fig. 41), sur lesquelles réagit une tige T munie d'un double bec à biseau, et qui portent sur leur axe même de rotation deux roues A, A′ engrenant l'une dans l'autre; l'aiguille indicatrice est fixée sur l'un de ces axes et

le mouvement de rotation est communiqué au système par l'action, sur les dents des rochets, du double bec, mis en

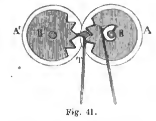


Fig. 41.

mouvement de va-et-vient par un électro-aimant à armature aimantée.

Télégraphe de M. Wheatstone. — Le télégraphe microscopique à cadran de M. Wheatstone, dont nous avons donné la description dans notre dernier volume, est aujourd'hui exclusivement employé pour la télégraphie privée à l'intérieur de Londres et va l'être prochainement à Rotterdam dans le même but.

Tous ceux qui ont parcouru dans ces dernières années les rues de Londres, ont pu apercevoir au-dessus des maisons, et sillonnant les différents quartiers de cette ville, un petit câble soutenu de distance en distance par deux fils métalliques, lesquels sont supportés eux-mêmes par des espèces de poteaux en trépied placés sur les toits des maisons. Ce câble, qui contient cinquante fils, est la ligne de la compagnie de la télégraphie privée, et chacun de ces fils est loué pour une somme annuelle assez modique aux particuliers qui veulent être en communication télégraphique dans les divers quartiers de Londres. C'est ainsi que les offices des grands industriels de la capitale anglaise se trouvent reliés soit avec les logements particuliers de ces derniers, soit avec les docks, soit avec les grandes usines des faubourgs de Londres. C'est encore par leur intermédiaire que les bureaux des grands

journaux anglais sont reliés aux agences télégraphiques et au Parlement. Cette heureuse application, due à l'initiative de M. Wheatstone, est devenue aujourd'hui une excellente affaire pour la compagnie qui s'est chargée de son exploitation, et les avantages qu'elle procure sont de jour en jour appréciés davantage. Espérons que le peuple français sera un jour assez sage pour jouir de cette prérogative qui lui est aujourd'hui refusée.

Depuis la publication de notre dernier volume, M. Wheatstone a apporté à son appareil quelques perfectionnements de détails assez importants. Ainsi, l'appareil magnéto-électrique a été complétement changé, et au lieu d'employer le système de Clarke, M. Wheatstone a eu recours au système de M. Dujardin, modifié de manière à fournir des courants d'une intensité uniforme.

Le système de M. Dujardin consiste, comme on le sait, dans un aimant fixe dont les extrémités polaires sont recouvertes par les hélices induites, et les courants qui naissent dans ces hélices résultent du renforcement de la puissance de l'aimant par la réaction d'une armature de fer doux passant devant ses pôles. Mais il est facile de comprendre que les courants ainsi produits, comme ceux de la machine de Clarke, ne peuvent atteindre immédiatement leur maximum d'énergie; de sorte que le courant définitif qui résulte du mouvement de rotation de l'armature peut être représenté, quant à son intensité, par une ligne ondulée qui est bien loin de réaliser l'effet que s'était proposé M. Wheatstone en employant pour ses transmissions des courants induits continus. Il a donc cherché à faire disparaître cet inconvénient et il y est arrivé au moyen de la disposition suivante :

Au lieu de placer les bobines d'induction sur les extrémités polaires de l'aimant fixe, il les a disposées sur des noyaux de fer adaptés à une semelle de fer recouvrant ces extrémités, et au lieu de n'avoir que deux bobines il en a employé quatre,

disposées de manière que les noyaux de fer pussent former les quatre coins d'un carré parfait, comme on le voit dans la figure 42 ci-dessous.

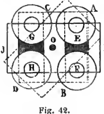


Fig. 42.

En employant avec ce système une armature large IJ pivotant en O et en ayant soin d'enrouler, d'une manière inverse, le fil des deux bobines fixées sur le même pôle de l'aimant, il put résoudre complétement le problème. Il résulte, en effet, de cette disposition, que quand l'armature IJ quitte les noyaux magnétisés E et H pour couvrir les noyaux F et G, les courants de désaimantation produits par les premiers commencent à naître alors que les courants d'aimantation produits par les seconds sont presque à leur maximum, et que, quand ces derniers sont sur le point d'être annihilés, les premiers sont, au contraire, à leur maximum. Comme les courants de désaimantation des noyaux E et H sont de même sens que les courants d'aimantation des noyaux F et G en raison de l'enroulement inverse du fil qui les recouvre, ces courants s'additionnent et maintiennent toujours à peu près constante l'intensité du courant effectif destiné à réagir sur le récepteur. Le mécanisme du transmetteur n'est d'ailleurs pas changé et consiste toujours dans le manipulateur à touches et à chaîne sans fin que nous avons décrit et dont nous représentons page 260 (fig. 43) un fragment pour mémoire.

Le récepteur n'a pas non plus été modifié quant au méca-

nisme, c'est toujours une roue à rochet dont l'axe dirigeant l'aiguille est brisé et peut être déplacé par la tige de l'électro-aimant de manière à lui permettre d'osciller entre deux pointes rigides qui déterminent son mouvement de rotation.

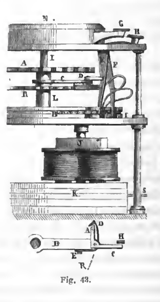


Fig. 43.

M. Wheatstone propose de donner à ce genre d'action le nom de *propellement*. Nous adopterons volontiers cette désignation pour éviter les confusions avec les échappements. Ainsi nous dirons que tous les télégraphes à cadran que nous venons de décrire jusqu'à présent sont à *propellement*. Quant à la forme extérieure des récepteurs en question, M. Wheatstone l'a souvent variée ; tantôt elle représente une espèce de pupitre ou porte-montre qui peut être séparé du manipulateur ; tantôt elle représente une espèce de petit tonneau suspendu par deux tourillons sur deux colonnes de cuivre ; ce qui permet d'incliner plus ou moins le cadran. Ces diffé-

rentes formes n'ont, du reste, rien de bien intéressant et peuvent être variées indéfiniment.

Télégraphe de M. Lippens. — M. Lippens (de Bruxelles est, comme on le sait, un des constructeurs qui se sont le plus occupés de télégraphie électrique, et ses appareils, justement recherchés, sont employés depuis longtemps en Belgique pour le service des chemins de fer, soit sous la forme de télégraphes électriques à courants renversés, soit sous la forme de télégraphes magnéto-électriques. Ces deux sortes d'appareils sont d'ailleurs établis sur le même modèle et ne diffèrent l'un de l'autre que par le mécanisme magnéto-électrique qui remplace chez l'un le commutateur à renversement de pôles qui existe chez l'autre.

Dans l'appareil de M. Lippens, le mécanisme moteur de l'aiguille est, comme dans les appareils de M. Bréguet, un petit mécanisme d'horlogerie commandé par un échappement à roue à rochet ; seulement ce mécanisme est disposé horizontalement et les oscillations de la tige destinée à faire fonctionner la fourchette d'échappement sont commandées par une palette aimantée oscillant entre deux électro-aimants, comme dans le système de M. Gloesener. De cette

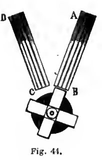


Fig. 44.

manière l'appareil fonctionne sans ressorts antagonistes, et par suite sans réglage.

L'appareil magnéto-électrique se compose de deux aimants en fer à cheval disposés comme on le voit dans la fig. 44, et devant les pôles desquels tournent deux systèmes d'armatures disposées en croix et montées sur un même axe vertical de fer doux terminé par une manivelle. La bobine induite est placée sur cet axe entre les deux systèmes d'armatures, qui en forment comme un électro-aimant droit à pôles épanouis. Ce système, en tournant devant les pôles des deux aimants, reçoit donc pour chaque révolution huit aimantations et huit désaimantations qui, en produisant huit courants inverses et huit courants directs, peuvent faire prendre à l'aiguille du récepteur seize positions différentes.

Comme ce nombre ne correspond pas à celui des lettres du cadran, la manivelle du manipulateur ne pourrait jamais avec ce système désigner, par sa position sur un cadran indicateur, les lettres successivement transmises. Aussi M. Lippens n'a pas adapté de cadran à son manipulateur; il s'est contenté, en introduisant les deux récepteurs dans le circuit de ligne, de prendre pour indicateur le cadran du récepteur de la station lui-même. Cette disposition n'est pas, nous devons l'avouer, très-commode pour le service, car de cette manière on n'est jamais sûr de la quantité dont il faut tourner la manivelle pour faire pointer telle ou telle lettre, et sans une grande habitude de ces sortes d'appareils, on doit tâtonner longtemps avant de pouvoir arriver à signaler promptement les différentes lettres qui doivent être transmises.

On peut faire le même reproche à l'autre système télégraphique de M. Lippens, qui exige 3 tours 1/2 de manivelle pour un tour de l'aiguille sur le cadran. Pourtant, comme ces télégraphes sont d'un emploi habituel en Belgique, il faut que l'inconvénient dont nous venons de parler ne soit pas bien sérieux. Il paraît du reste que les employés belges arrivent promptement à une manœuvre facile de ces appa-

reils, en contractant l'habitude de faire parcourir à la manivelle, d'une manière saccadée, des angles de 45°.

Dans ce dernier télégraphe, le commutateur destiné à fournir les courants alternativement renversés qui doivent faire fonctionner les récepteurs consiste, comme on le voit sur la fig. 45, dans huit chevilles métalliques CC'C''C''', II'I''I''' placées des deux côtés d'un disque adapté à l'axe vertical A

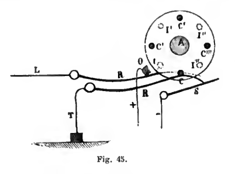


Fig. 45.

de la manivelle. Ces huit chevilles sont alternées sur les deux faces du disque; par conséquent, quatre sont au-dessus et quatre sont au-dessous. Sur les chevilles supérieures CC'C''C''' appuie une lame de ressort R mise en communication avec la terre, et aux chevilles inférieures II'I''I''' correspond également une lame de ressort R' mise en rapport avec la ligne. En face de ces deux ressorts se trouvent une pièce rigide O contre laquelle ils butent alternativement, et une lame de ressort S, sur laquelle viennent appuyer les mêmes ressorts quand ils sont abaissés par les chevilles CC'C'', etc. Ces deux dernières pièces sont en rapport avec les deux pôles de la pile. Or, voici ce qui arrive quand en tournant la manivelle on fait tourner le disque A : Lorsque la cheville supérieure C repousse le ressort R contre le ressort S, le ressort R' se trouve entre les deux chevilles II''' et appuie

contre le contact O; le courant va alors à travers la ligne de R′ en L. Quand au contraire la cheville I soulève le ressort R′, celui-ci vient en contact avec la lame S, et le ressort R touche le contact O, d'où il résulte un courant traversant la ligne de L en R′.

Suivant M. Lippens, chacun des contacts opérés de la manière précédente étant à peu près instantané et la ligne ne se trouvant parcourue par aucun courant pendant un huitième de tour de la manivelle, entre la transmission de deux lettres voisines, il serait facile d'arrêter la manivelle au moment où l'aiguille arrive à la lettre qui doit être indiquée, sans donner un faux contact qui fasse passer les aiguilles des récepteurs sur la lettre suivante.

Des pédales habilement combinées permettent du reste, avec les instruments de M. Lippens, de remettre au repère les appareils, d'arrêter le mouvement de l'un sans compromettre la marche de l'autre, et de décharger la ligne en temps convenable. Nous n'entrerons dans aucuns détails à ce sujet, car cela nous entraînerait beaucoup trop loin. Nous ne ferons également que signaler pour mémoire une nouvelle disposition du manipulateur précédent dans laquelle a été appliquée la disposition à gorge sinueuse des transmetteurs à signaux Chappe de Bréguet.

Télégraphe de M. Allan. — Les courants induits, en raison de leur grande tension, présentent des avantages incontestables quand il s'agit de produire à des distances assez grandes une force électro-magnétique assez faible. Ces avantages ont fait rechercher les moyens d'augmenter l'intensité de ces sortes de courants, et l'on a eu l'idée de mettre à contribution les courants induits résultant d'appareils à aimants temporaires, qui sont plus énergiques que les autres. M. Siemens a employé ce système avec succès pour le fonctionnement de ses appareils. Pour augmenter encore l'énergie de ces courants, M. Allan, se reportant à une expérience dont

j'ai longuement parlé (voir ma *Notice sur l'appareil de Ruhmkorff*, page 367), et par laquelle un électro-aimant fermé donne des courants induits plus intenses en quantité qu'un électro-aimant ouvert, a combiné un télégraphe magnéto-électrique fondé sur ce principe, et dans lequel le système magnéto-électrique a la disposition suivante :



Fig. 46.

Il a obtenu de cette manière des courants induits relativement assez intenses en quantité, et qui ont pu faire fonctionner, d'une manière remarquable, un télégraphe dont le récepteur, sauf la disposition électro-magnétique qui est à bobines multiples, est assez semblable à celle de l'appareil de M. Wheatstone.

Au sujet de cette disposition télégraphique, M. Allan a prétendu que son système avait précédé celui de M. Wheatstone, mais notre conviction à cet égard n'est pas assez établie pour que nous voulions entrer dans ce débat de priorité. Quoi qu'il en soit, M. Allan paraît être le premier qui ait employé, comme système électro-magnétique, des faisceaux d'électro-aimants droits réagissant latéralement sur une série d'armatures disposées en rayons d'étoile et découpées dans une même plaque de fer ou d'acier, système aujourd'hui assez recherché.

Télégraphe à cadran de M. Bréguet, dans lequel le mécanisme du récepteur se remonte par le jeu même du manipulateur. — Pour que les télégraphes à cadran à mouvement d'horlogerie puissent être toujours en état de fonctionner et être, par conséquent, indépendants des distractions ou des défauts de soin des employés, M. Bréguet a eu l'idée de

faire opérer le remontage de leur mécanisme d'horlogerie par le jeu même du manipulateur. Pour cela, il place le récepteur au centre de ce manipulateur et dispose la manette de manière à laisser vide la partie centrale qui est occupée par l'aiguille indicatrice du récepteur. Il en résulte que le cadran du manipulateur sert de cadran au récepteur, et vice-versa. Le mécanisme des deux appareils est d'ailleurs toujours le même. Seulement le disque portant la gorge sinueuse destinée à faire osciller le levier interrupteur est muni de 13 chevilles qui réagissent sur un autre disque échancré adapté au barillet du mécanisme d'horlogerie. Ce disque joue le rôle de la clef destinée à remonter ce barillet; toutefois, il ne peut réaliser cet effet que jusqu'à un certain degré de tension du ressort moteur, car il n'est relié avec lui que par l'intermédiaire d'un ressort arqué appliqué fortement sur la platine mobile du barillet. Il arrive alors que quand on tourne la manette du manipulateur, on remonte continuellement le mouvement d'horlogerie, et que, quand la transmission est assez prolongée pour dépasser la limite du remontage, le disque remonteur tourne comme une roue folle sans produire d'effet. On comprend facilement, d'après cette disposition, que le ressort du barillet ne doit pas être très-fort pour ne pas opposer une résistance trop grande au jeu de la manivelle. Aussi a-t-on été obligé de supprimer quelques rouages au mécanisme du récepteur, qui est à trois mobiles au lieu d'être à cinq.

La figure 1, pl. 1, représente ce nouvel appareil. A est le cadran du manipulateur; B le disque à gorge sinueuse; G le barillet surmonté du disque échancré dont nous avons parlé; E la roue d'échappement qui conduit l'aiguille indicatrice; C le levier interrupteur; D le levier de débrayage pour remettre l'aiguille à la croix; P la palette de l'électro-aimant; F le rouage intermédiaire entre la roue d'échappement et le barillet; M la manette.

Télégraphes sans réglage. — Bien que les administrations télégraphiques ne veuillent pas attacher d'importance à la suppression du réglage dans les appareils télégraphiques, les avantages de cette suppression sautent tellement aux yeux, que le problème est toujours à l'ordre du jour parmi les inventeurs. Nous avons vu que depuis longtemps M. Gloesener avait résolu le problème au moyen de ses télégraphes à armatures aimantées; mais ce système a été employé depuis dans de meilleures conditions par MM. Bréguet et Digney, l'un en employant le système électro-magnétique du Père Cecchi, l'autre en employant le système d'électro-aimant de M. Siemens, que nous avons décrit déjà dans notre dernier volume, page 183. La substitution de ces systèmes électro-magnétiques aux électro-aimants ordinaires n'a d'ailleurs occasionné aucun changement dans le mécanisme de ces télégraphes. Les manipulateurs seuls ont dû être disposés de manière à faire fonction de commutateurs à renversement de courants. Le système de MM. Digney

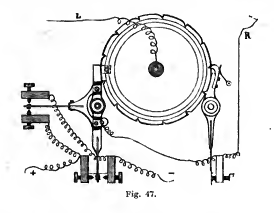


Fig. 47.

est représenté fig. 47 ci-dessus. Il ne nécessite, comme on le voit, en dehors de la disposition ordinaire, qu'un levier

additionnel isolé du métal de l'appareil et communiquant métalliquement avec le fil de ligne L. Les vis entre lesquelles oscillent ces deux leviers, sont en communication avec les pôles de la pile, comme on le voit sur la figure, et un troisième levier oscillant, appuyant par une de ses extrémités sur la circonférence du disque portant la gorge sinueuse, établit la communication entre la ligne et le récepteur, quand le manipulateur est à la croix. A cet effet, cette circonférence du disque porte de petites entailles qui servent en même temps à empêcher le recul de la manivelle.

Le système de M. Bréguet est aussi simple et ne diffère du précédent qu'en ce que le levier additionnel, au lieu d'être

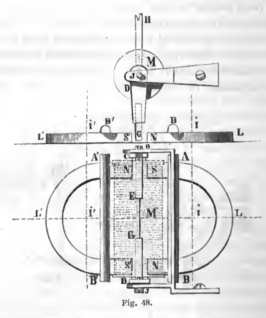


Fig. 48.

disposé en croix sur le levier ordinaire, est placé dans son prolongement, et en ce que les contacts qui doivent établir

la communication de la ligne avec le récepteur, quand le manipulateur est à la croix, sont produits par un ressort spécial placé perpendiculairement au-dessous de celui qui fournit les contacts avec la pile. Ce ressort appuie alors sur une petite plaque placée entre les deux vis d'arrêt de ce dernier.

Quant aux récepteurs, nous n'entrerons dans aucuns détails relativement à leur construction; nous nous bornerons à reproduire ci-dessous la disposition des systèmes électro-magnétiques qui ont été employés.

Le premier, fig. 48, est celui qui a été adopté par M. Bréguet, le second, fig. 49, est celui qu'ont employé MM. Digney.

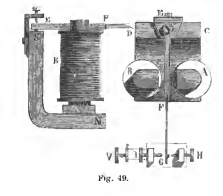


Fig. 49.

L'objection principale faite aux systèmes précédents, étant toujours la possibilité supposée de la désaimantation des armatures, désaimantation qui aurait pour effet, si elle était réelle, de mettre les appareils dans l'impossibilité matérielle de fonctionner, puisqu'il n'y aurait plus alors de ressorts antagonistes, j'ai recherché, il y a quatre ans environ, s'il n'y aurait pas moyen, tout en gardant exactement la disposition ordinaire des appareils, de leur adapter un système qui pût détruire les effets du magnétisme remanent. J'y suis

parvenu avec le système que nous avons décrit page 199, et que nous reproduisons ci-dessous, fig. 50, lequel a pu

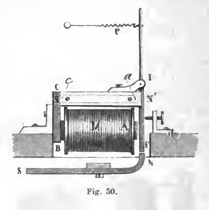


Fig. 50.

permettre à un télégraphe Bréguet de fonctionner sans réglage avec un circuit variant en résistance de 0 à 500 kilomètres, et avec une pile variant de 2 à 30 éléments. Le problème était donc complétement résolu, car si les désaimantations si fort à craindre devaient se manifester réellement, on avait toujours entre les mains un télégraphe ordinaire pouvant être réglé à volonté, et qui, loin d'être inférieur aux télégraphes actuels, avait même une énergie plus grande à cause de la course angulaire de l'armature. Malgré ces avantages, ce télégraphe n'a pu vaincre encore la routine, et il faut le dire, même au grand étonnement de ceux qui s'intéressent au progrès de la science électrique, les premiers routiniers, à cet égard, ont été les constructeurs eux-mêmes, bien que les moyens d'appliquer ce système à leurs appareils leur aient été donnés sans aucun droit ni redevance. Pourtant, les effets avantageux de ce système sont incontestables; cent fois on leur a montré qu'un électro-aimant qui avait besoin d'une force antagoniste de

200 grammes pour détacher une armature, n'en exigeait aucune avec cet électro-aimant muni de ses aimants. On leur a même prouvé qu'un pareil système électro-magnétique n'était pas plus cher que le système ordinaire. Malgré ces faits, on aime mieux rester dans la routine. Il en est, du reste, de cela comme du mode d'articulation des armatures des électro-aimants. Dans l'origine, et sans aucune espèce de raison, on avait adopté pour les télégraphes le système avec armatures se mouvant parallèlement à la ligne des pôles de l'électro-aimant, et on a toujours continué à adopter ce genre de construction, bien que la disposition dans laquelle les armatures se meuvent angulairement fournisse une force beaucoup plus considérable, par exemple dans le rapport de 136 à 92. Quand donc la raison finira-t-elle par avoir raison ?

Télégraphe de M. Langrenay. — Comme MM. Siemens, Wheatstone, Henley, etc., M. Langrenay a voulu supprimer dans les télégraphes à cadran le mécanisme d'horlogerie ; mais l'expérience lui ayant démontré, qu'avec les conditions ordinaires de ces sortes de télégraphes, l'action électrique aurait beaucoup de peine à produire à elle seule les mouvements de l'aiguille, il a voulu conserver le système d'échappement par déclanchement, en remplaçant le mécanisme d'horlogerie par un ressort spiral adapté à l'axe de la roue d'échappement elle-même, et terminé à son extrémité libre par une roue à rochet. Le levier de la fourchette, en oscillant sous l'influence des émissions successives de courant, réagit sur ce rochet et opère la tension du ressort spiral à mesure qu'il se détend. Il en résulte que la roue d'échappement, au lieu d'être sollicitée à tourner sous l'influence de forces indirectes, comme cela a lieu avec les télégraphes sans mouvement d'horlogerie, reçoit directement son mouvement circulaire, ce qui théoriquement est un grand avantage. Malheureusement l'expérience a démontré qu'il fallait une

force électrique assez puissante pour faire fonctionner cet appareil.

Télégraphe à manipulateur imprimeur de M. Dujardin. — Quand on expédie une dépêche par l'intermédiaire d'un télégraphe à cadran ordinaire, il n'existe aucun moyen de contrôle pour reconnaître si cette dépêche a été expédiée convenablement et si l'employé n'a pas commis quelque erreur dans sa transmission, question fort importante quand il s'agit d'ordres à donner télégraphiquement pour affaires, ou de contestations élevées entre les deux correspondants : M. Dujardin a cherché à corriger ce défaut des télégraphes à cadran en disposant le manipulateur de manière qu'il pût imprimer lui-même la dépêche tout en la transmettant.

« Le manipulateur auquel j'applique mon système, dit M. Dujardin, est celui que M. Bréguet emploie pour ses télégraphes à cadran. Je n'ai fait qu'en modifier la construction pour le rendre apte à servir comme manipulateur imprimeur ou simplement comme machine typographique. Dans le premier cas, on l'emploie au poste transmettant pour imprimer les dépêches en même temps qu'on les transmet ; et, dans le second, on l'emploie au poste recevant pour imprimer les dépêches dictées par l'aiguille du récepteur au lieu de les écrire. Les dépêches sont ainsi imprimées au départ et à l'arrivée, ce qui est avantageux au point de vue du contrôle. »

La figure 2, pl. I, représente ce manipulateur. Il se compose, comme on le voit, d'un cadran BB, portant 26 divisions et 26 crans, autour duquel se meut une manivelle DD, dont l'axe creux CC porte une roue d'angle G et pivote sur un pont. Une seconde roue d'angle H, engrenant avec cette dernière, est montée sur l'axe d'une roue des types verticale JJ, contre laquelle appuie un tampon encreur K, et au-dessous de cette roue des types passe une bande de papier XX, enroulée en provision sur un rouleau L,

et tirée par un laminoir UV. Ce laminoir est mis en fonction par une roue à rochet T, sur laquelle réagit une tige à crochet S, laquellè est mise en mouvement par un bras P adapté à un axe horizontal NN (fig. 51). Cet axe, qui porte encore

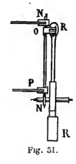


Fig. 51.

deux autres bras dont l'un O est placé sous l'axe CC (fig. 2, pl. I) de la manivelle, est sollicité à tourner vers la gauche par l'action de deux forts ressorts antagonistes ZZ'; mais il peut, étant incliné vers la droite, réagir, par l'intermédiaire de l'un des bras dont nous avons parlé, sur une bascule R'R (fig. 51) servant de mécanisme imprimeur. Celle-ci est, à cet effet, disposée de manière que son extrémité libre R, garnie de caoutchouc, se trouve placée immédiatement au-dessous de la roue des types et de la bande de papier. Enfin une tige MM (fig. 2, pl. I), traversant l'axe creux de la manivelle et articulée sur le levier DD, appuie sur le bras O (fig. 51) de l'axe NN, engagé sous le pont de l'axe CC (fig. 2, pl. I). Voici maintenant comment cet appareil fonctionne.

Quand on tourne la manivelle DD, la roue des types JJ tourne en même temps et présente devant le levier imprimeur celui des caractères devant lequel s'est arrêtée la manivelle. En appuyant alors sur cette manivelle, on abaisse la tige MM, qui, en faisant tourner l'axe NN, provoque d'une part l'abaissement du levier imprimeur et de l'autre l'échap-

pement du crochet de la tige S. La lettre transmise se trouve donc ainsi imprimée au manipulateur, et lorsque la manivelle se relève, le rochet T, mis en action par la tige S sous l'influence des ressorts antagonistes, fait tourner le laminoir UV, qui fait avancer d'un cran la bande de papier.

M. Dujardin a, du reste, combiné plusieurs autres systèmes de manipulateurs de ce genre, dans lesquels la roue des types, ou lieu d'être verticale, est horizontale, et qui peuvent fournir plusieurs bandes imprimées, l'une pour le contrôle et les autres pour les expéditeurs. Un système de ce genre a été publié dans les *Annales télégraphiques* de l'année 1859 (voir t. II, p. 405).

Manipulateur imprimeur de M. Guillot. — Dernièrement, M. Guillot a fait breveter un système complétement semblable à celui que nous venons de décrire. Seulement, il lui a ajouté un mécanisme destiné à forcer l'employé qui transmet de manipuler convenablement pour que l'impression ait toujours lieu. Pour cela, M. Guillot adapte sur l'axe de la manette un disque dont la surface inférieure est creusée d'une rainure en limaçon ayant pour centre celui du disque et dans laquelle s'engage l'extrémité recourbée d'un levier doublement articulé. Ce levier, ainsi engagé, se trouve entraîné, par suite de la rotation du disque, vers l'axe du manipulateur, et pourrait, en s'appuyant contre lui, former un obstacle à la marche de l'appareil, s'il n'était dégagé à temps de la rainure; or ce dégagement n'a lieu que quand on appuie sur la manivelle. Ce levier sort alors de la rainure, et, se reportant en arrière sous l'influence d'un ressort, ne s'engage de nouveau dans cette rainure qu'en son point le plus éloigné du centre. De plus, le levier en question étant disposé de manière à compléter le circuit de la ligne et à ne le fermer que sur un arc d'une longueur déterminée, il résulterait de l'oubli d'une impression de la part de l'employé la rupture du circuit et l'arrêt du mécanisme manipulateur.

Moyens proposés pour augmenter la vitesse de transmission des dépêches avec les télégraphes à cadran. — Si l'on considère que la rotation du manipulateur des télégraphes à cadran ne peut se faire que dans un seul sens, et que pour transmettre une lettre qui en précède une autre déjà transmise il faut faire accomplir à la manivelle un tour entier du cadran; si l'on considère, d'autre part, que plus le nombre des émissions de courant est considérable, plus la transmission présente de chances d'erreur, on comprendra facilement que toute disposition qui permettra de réduire le nombre de ces émissions de courant, et par conséquent l'étendue de la course de la manivelle, présentera des avantages réels, tant pour la célérité que pour la sûreté des transmissions. Or, pour arriver à ce résultat, il est un moyen bien simple, c'est de changer l'ordre des lettres sur les cadrans et de les disposer de manière que les lettres qui se répètent le plus souvent ou qui se groupent le plus fréquemment ensemble, nécessitent le moins d'émissions de courant et se suivent le plus près. Des recherches consciencieuses, faites par M. Lemoyne, inspecteur des lignes télégraphiques, ont prouvé que l'ordre le plus avantageux était, pour les télégraphes à cadran, le suivant :

+ d c m p v g b f h j q k
• t s n r z x y u i o e a l

et pour les télégraphes imprimeurs :

(.) i u y d c p m v g n s b f
+ w q o k e a x z j h t r l

M. Lemoyne a, du reste, publié sur cette question un intéressant mémoire dans les *Annales télégraphiques* (t. V, p. 46).

M. Astier a proposé également, pour arriver au même but, de composer les cadrans d'une partie mobile portant à des

intervalles inégaux les consonnes, et d'un cadran fixe emboîtant le premier, portant à intervalles égaux les cinq voyelles, plus l'*e* muet, qui constitue le repère, ou le zéro. Mais ce système, d'ailleurs peu étudié par son auteur, est plutôt théorique que pratique.

Télégraphes à aiguilles.

L'abandon à peu près général des télégraphes à aiguilles a empêché les inventions qui pouvaient avoir avec eux quelques rapports de se multiplier. Cependant, comme quelques compagnies anglaises se servent encore de ce système, nous avons trouvé à l'Exposition anglaise quelques modèles nouveaux de ces télégraphes, dont les plus curieux sont ceux de MM. Allan et Henley.

Celui de M. Henley ne diffère de celui que nous avons décrit dans notre second volume, page 36, que par le transmetteur auquel l'auteur a adapté le nouveau système magnéto-électrique de son télégraphe à cadran (voir page 252). Seulement, comme avec le système des télégraphes à aiguilles il n'est pas besoin d'un nombre déterminé d'émissions de courant faites dans un sens différent, la roue portant les vingt-six armatures a pu être remplacée par un simple arc métallique muni de trois armatures, lesquelles ont été disposées comme on le voit dans la figure 52 ci-contre. En adaptant à cet arc un manche M articulé en A, on comprend aisément qu'il suffit d'incliner ce manche d'un côté ou de l'autre pour provoquer deux aimantations contraires de l'électro-aimant E placé entre les branches de l'aimant en fer à cheval BC, et pour provoquer ensuite deux courants induits de sens inverse, ayant pour effet deux mouvements contraires de l'aiguille indicatrice.

Le télégraphe de M. Allan n'a de nouveau que le système magnétique de son récepteur. Pour éviter les inconvénients

du magnétisme rémanant des électro-aimants, et pour avoir cependant une force électro-magnétique suffisante, M. Allan

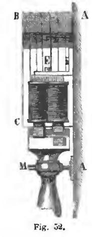
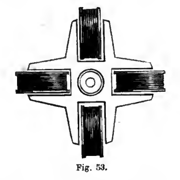


Fig. 52.

a employé des bobines magnétiques, c'est-à-dire de petits électro-aimants droits sans noyau de fer. On sait que les bobines magnétiques sont par le fait de véritables aimants,


Fig. 53.

et si leur action sur le fer est peu énergique, il n'en est pas

de même de leur action sur les barreaux magnétiques. Aussi, en multipliant cette réaction par la disposition que nous représentons dans la figure 53 et en faisant en sorte que l'armature aimantée à huit branches qui encadre les bobines pût présenter aux extrémités de ces branches des pôles alternativement nord, sud, M. Allan a pu arriver avec quatre petites bobines de 2 centimètres seulement de longueur à obtenir un télégraphe assez sensible.

Les autres appareils de ce genre ne diffèrent les uns des autres qu'en ce que chaque constructeur a voulu leur adapter un système électro-magnétique particulier, dont l'effet avantageux est souvent plus que contestable, mais qui leur donne un cachet de nouveauté suffisant aux yeux de certaines personnes peu au courant des effets électriques, pour les faire rechercher. Ainsi, par exemple, M. Tyer a appliqué à tous ses télégraphes une disposition électro-magnétique qui n'est autre que la disposition renversée du système de M. Henley, mais prise dans de mauvaises conditions, puisque la masse de l'armature étant augmentée et celle-ci étant disposée de manière à faire volant, ses mouvements ne peuvent pas être rapides.

Télégraphes écrivants.

Les télégraphes écrivants n'ont pas reçu dans ces dernières années de notables améliorations. La plupart des modifications qui ont été apportées au système de MM. Digney et Thomas John ont été plutôt faites en vue d'éluder les droits de certains brevets que pour apporter à la télégraphie un progrès réel. C'est ainsi, par exemple, que l'encrier du télégraphe Thomas John, regardé comme un inconvénient il y a quelques années, a été remis en honneur dans beaucoup d'appareils figurant à l'Exposition de Londres. Toutefois, on a réalisé quelques perfectionnements de détails qui ont réellement leur valeur dans la pratique. Ainsi, l'administration

des lignes télégraphiques françaises ayant reconnu que l'emploi de la molette avait l'inconvénient d'empêcher l'audition de l'appel fait par l'électro-aimant des récepteurs, on a cherché à remédier à cet inconvénient et on y est arrivé de plusieurs manières. On a de même combiné plusieurs nouveaux systèmes de déclanchement automatique qui permettent aux appareils de recevoir une dépêche sans la présence d'un employé. Enfin, on a disposé les clefs de manière à pouvoir transmettre simultanément plusieurs dépêches. Nous étudierons successivement ces différents systèmes, qui ne sont par le fait que très-accessoires, et nous commencerons notre étude des télégraphes écrivants, par les télégraphes automatiques qui, en raison de l'abaissement des taxes des dépêches, sont aujourd'hui à l'ordre du jour en France.

Télégraphe automatique de M. Wheatstone. — Nous avons déjà décrit longuement ce télégraphe dans notre dernier volume, page 586. Néanmoins, comme plusieurs perfectionnements importants lui ont été apportés dernièrement, nous croyons devoir revenir encore sur cet intéressant appareil, dont toutes les parties sont combinées de la manière la plus ingénieuse.

Nous avons vu que ce système télégraphique comportait quatre espèces d'appareils : un récepteur, un transmetteur automatique, un perforateur et un traducteur. Nous avons vu de plus que, pour obtenir une plus grande vitesse dans la transmission des dépêches, M. Wheatstone avait été conduit à n'employer pour signaux que des combinaisons de points disposés sur deux lignes. Cette disposition, en créant un nouveau système alphabétique auquel les télégraphistes ne sont pas habitués, avait paru un inconvénient, et cela, joint à la délicatesse de construction de l'appareil récepteur, avait fait accueillir assez froidement en France l'invention de M. Wheatstone. Mais cet habile physicien ne se laissa pas

rebuter pour si peu. Il combina d'abord son alphabet de manière que rien ne fût changé au système admis dans la pratique, et cela lui était très-facile, puisqu'il n'avait qu'à faire considérer comme traits les points placés d'un certain côté de la bande, et comme points ceux placés du côté opposé. Les différentes lettres pouvaient donc ainsi se trouver composées dans le système Morse, et pour que les points, devant être interprétés comme traits ne fussent pas confondus avec les autres, il les rendit plus ostensibles en augmentant leur diamètre. L'alphabet fut donc composé comme on le voit ci-dessous,

A B C D E F G H

I J K L M N O P Q

R S T U V W X Y Z

et la bande destinée à le transmettre fut découpée par le perforateur que nous représentons fig. 55 et 56 de la manière suivante :



Fig. 54.

Cette découpure ne présentait d'ailleurs aucune difficulté pour l'employé, puisque la touche du perforateur, destinée à percer les trous inférieurs de la bande de papier, pouvait être considérée par lui comme la touche des traits, et dès lors, il pouvait composer sa dépêche comme si les signaux eussent dû être placés sur la même ligne.

Par ce système, M. Wheatstone évitait donc les inconvénients d'un changement alphabétique, et tout en laissant les

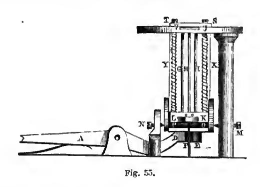


Fig. 55.

employés chargés de la transmission dans les mêmes conditions qu'avec les télégraphes ordinaires, il leur mettait entre les mains un transmetteur parfait, dont toutes les per-

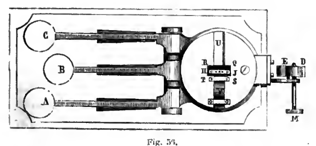


Fig. 56.

sonnes de l'art avaient été unanimes à reconnaître le mérite.

Pour répondre à l'objection qui lui avait été faite sur la délicatesse de ses récepteurs et sur les inconvénients que présentait dans la pratique l'emploi d'une encre liquide conduite à travers des trous capillaires, M. Wheatstone disposa son transmetteur de manière à pouvoir, avec son système de

papier découpé sur deux rangées, réagir sur les récepteurs Morse ordinaires. Cela lui fut d'autant plus facile que les aiguilles de ce transmetteur correspondant aux trous supérieurs et inférieurs de la bande de papier pouvaient réagir isolément sur des conjoncteurs particuliers et produire, sur l'un des fermetures de courant prolongées et sur l'autre des fermetures de courte durée. La figure ci-dessous, qui repré-

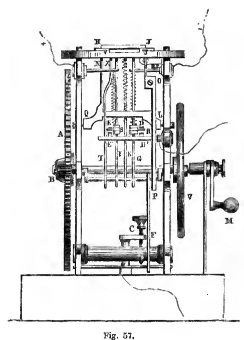


Fig. 57.

sente ce transmetteur, permet de comprendre aisément comment le problème a pu être résolu. Toutefois, comme avec ce nouveau système les courants ne sont plus renversés à travers la ligne et qu'il est nécessaire de la décharger pour

éviter les effets des courants de retour, M. Wheatstone a été obligé de compliquer un peu le conjoncteur destiné à la production des fermetures prolongées du courant, lequel est mis en fonction par l'aiguille T. Nous donnerons peut-être dans nos Appendices le dessin de ce conjoncteur; mais il n'est pas essentiel en ce moment pour la compréhension du système de M. Wheatstone, puisqu'il résulte de la disposition précédente, que l'appareil peut fournir, suivant la disposition des trous de la bande de papier, des courants prolongés ou de courte durée, dont l'action peut être traduite sur le récepteur par des traits et des points groupés de manière à reproduire les signaux Morse.

La vitesse de transmission des dépêches avec ce système est toutefois un peu moins grande qu'avec le récepteur que nous avons décrit dans notre précédent volume. Ainsi, au lieu de 600 lettres que ce dernier peut imprimer en une minute, le récepteur ordinaire ne peut en imprimer que de 350 à 400. Quoi qu'il en soit, le résultat est déjà assez beau pour que le transmetteur Wheatstone soit recherché avec empressement; et si l'on réfléchit à la simplicité de sa construction, ainsi qu'à celle du perforateur, à la facilité et à la promptitude avec laquelle les dépêches peuvent être préparées et transmises, enfin, aux dimensions pour ainsi dire microscopiques des appareils, on est réellement tout étonné qu'on puisse essayer encore les lourdes machines de M. Marqfoy, que l'expérience avait déjà fait rejeter une première fois, et qui non-seulement n'offrent aucuns des avantages des transmetteurs automatiques, mais donnent encore des résultats inférieurs aux transmissions à la clef. Aujourd'hui que l'abaissement des taxes a augmenté considérablement en France le nombre des dépêches télégraphiques, la question de la promptitude de transmission doit être à l'ordre du jour, et sous ce rapport il est à désirer que le système de M. Wheatstone soit promptement mis à l'essai.

L'application que M. Wheatstone vient de faire de son système de transmission automatique aux récepteurs ordinaires ne l'a pas empêché de perfectionner aussi son récepteur, qu'il regarde à bon droit comme réunissant des avantages incontestables. Au lieu d'employer deux systèmes d'électro-aimants à quatre bobines et à quatre armatures aimantées, comme on le voit dans la figure ci-dessous, il compose chacun de ces systèmes électro-magnétiques de six bobines

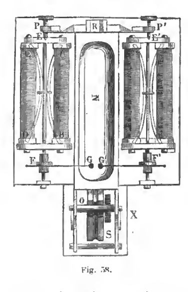


Fig. 58.

et de huit armatures aimantées, ce qui augmente considérablement leur force; l'encrier, au lieu d'être en N, est placé sur le côté de l'appareil, afin que la bande de papier puisse, comme dans les appareils Morse perfectionnés, défiler en dehors de la boîte où sont renfermés les mécanismes. Enfin, l'appareil est muni d'nne sonnerie dont le jeu a pour effet de déclancher le mouvement d'horlogerie destiné à entraîner la bande de papier. Cette sonnerie est

à mouvement d'horlogerie et se renclanche quand, après la réception d'une dépêche, on arrête le mécanisme moteur de la bande de papier.

Quelques perfectionnements de détails ont été également apportés au perforateur et à la partie mécanique du transmetteur. Nous ne pouvons entrer dans beaucoup de détails à cet égard, car ces détails ne pourraient intéresser que très-secondairement. Nous ajouterons seulement que, pour ceux de ces appareils qui fonctionnent avec les courants magnéto-électriques, M. Wheatstone a introduit le même perfectionnement que celui qu'il avait apporté au télégraphe à cadran que nous avons décrit page 257.

Télégraphe automatique de MM. Digney. — MM. Digney ont rendu leur télégraphe écrivant automatique, en employant un moyen analogue à celui que nous venons de décrire. Comme le système de M. Wheatstone, en effet, le système de MM. Digney se compose de trois appareils : d'un récepteur, d'un transmetteur et d'un perforateur ayant pour effet de découper une bande de papier ; mais ces appareils sont combinés d'une façon différente, et la bande de papier, au lieu d'être découpée de manière à ne présenter que des trous ronds, est percée d'entailles carrées de diverses longueurs, de manière à représenter les traits et les points des signaux Morse.

Le perforateur que nous représentons figure 59, page 286[1], se compose de trois leviers, terminés par des touches A, B et C, qui peuvent réagir au moyen de tiges verticales T, R et S, munies de galets, sur une bascule D, qui, en faisant décrire à la pièce IF un arc de cercle, repousse, par l'intermédiaire d'un cliquet H, une ou deux dents du rochet J, suivant que c'est la tige S ou T qui

1. Par une inadvertance du dessinateur, cette figure est représentée à l'envers.

réagit sur elle. Ce mouvement du rochet J est assuré au moyen d'une roue à dents pointues IG et d'un cliquet d'arrêt I. Les leviers A et B portent en L et K deux em-

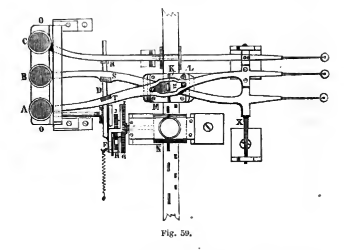


Fig. 59.

porte-pièce d'acier de largeur différente, destinés, en passant à travers la boîte M, à produire la perforation du papier; mais comme ces deux pièces sont forcées d'être placées l'une derrière l'autre, cette perforation s'effectue par le fait, comme dans l'appareil Wheatstone, sur deux lignes différentes, de telle sorte que les trous longs ne sont jamais placés à côté des trous courts. Cette disposition du reste n'a aucun inconvénient pour la transmission, comme on va le voir. Un laminoir N, placé devant la boîte de l'emporte-pièce M et monté sur le même axe que la roue à rochet J, détermine l'avancement du papier après chaque perforation, et complète l'appareil. Toute la complication de cet appareil provient de ce que les inventeurs ont voulu obtenir d'un seul coup la découpure des trous longs destinés à fournir les traits des signaux Morse. Il est résulté, en effet, de cette disposition

mécanique, que la quantité dont la bande de papier se trouve entraînée après chaque perforation doit être plus grande pour les trous allongés que pour les trous courts, et pour obtenir ce résultat il a fallu croiser le levier A au-dessus du levier B, afin que la tige T, appuyant sur la bascule D, plus près de son axe d'oscillation, pût, avec une même course, produire un échappement de deux dents du rochet J au lieu d'une.

Le troisième levier C n'agit que sur la bascule D pour fournir les espacements des lettres et des mots. Enfin la plaque OO sert de point d'appui à la main quand on fait marcher les leviers A, B, C.

Le transmetteur, qui est adapté sur la platine du récepteur opposée à celle où est le système imprimeur, consiste essentiellement dans deux tiges oscillantes AB (fig. 60 et 61),

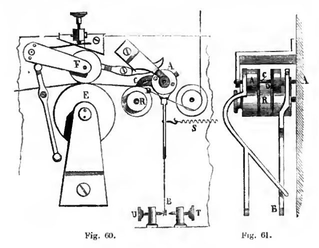


Fig. 60. Fig. 61.

articulées en A et portant deux becs C et D, appuyant dans des rainures circulaires adaptées à un rouleau R. Ces tiges sont repoussées sans cesse contre deux vis T par des ressorts antagonistes S ; mais quand on veut transmettre, la bande de

papier perforée doit être engagée entre les becs C et D et le rouleau R, de telle sorte que les tiges en question ne peuvent toucher ces vis T que quand l'un ou l'autre des becs C et D rencontre les parties trouées de la bande de papier. Comme cette bande est entraînée d'un mouvement uniforme par un laminoir EF, on comprend aisément que les contacts des tiges AB avec T seront d'autant plus longs que les trous de la bande seront eux-mêmes plus longs; et si l'on admet que ces tiges et les vis T soient en connexion avec le circuit de la pile de ligne, on comprendra facilement que les combinaisons obtenues sur la bande de papier à la station de réception pourront être reproduites électriquement, absolument comme si elles étaient transmises avec un manipulateur ordinaire.

La tige qui est reliée au bec C est représentée sur la fig. 61 avec un prolongement diagonal dont nous n'avons pas encore expliqué l'usage. Ce prolongement est une espèce de fourchette qui emboite avec un certain jeu la tige en rapport avec le bec D. Cette disposition a été adoptée pour empêcher un contact permanent entre la ligne et le récepteur du porte-expéditeur, contact qui, en s'effectuant par les vis U, aurait pour effet de dériver le courant à travers ce récepteur au lieu de l'envoyer entièrement sur la ligne.

Ce système, comme celui de M. Wheatstone, a produit de très-bons résultats, et il est réellement surprenant qu'après les essais qui ont été faits, et qui ont donné une transmission de 35 mots par minute ou 175 lettres, il n'ait pas encore été appliqué. On ne peut ici invoquer le prétexte de la délicatesse des instruments, car le perforateur (qui peut fournir de 7 à 8 mots par minute), peut résister aux poignets les plus énergiques, et le transmetteur fait partie du récepteur, regardé jusqu'ici comme suffisamment solide.

MM. Digney ont, du reste, combiné un perforateur plus simple à deux touches, avec lequel les trous longs sont faits

en deux fois, et un transmetteur à un seul style; mais nous ne voyons aucun avantage à l'emploi de ces derniers appareils, qui exigent de la part de l'employé un plus grand soin et une plus grande habitude.

Télégraphe automatique de M. Siemens. — Si le problème de la reproduction des signaux Morse, par un télégraphe fonctionnant avec les courants induits d'une machine magnéto-électrique, était difficile à résoudre, celui de la transmission automatique de ces signaux avec les mêmes courants soulevait encore bien d'autres difficultés; pourtant M. Siemens, non-seulement a triomphé de tous ces obstacles, mais est parvenu à créer avec ces éléments un système de télégraphie automatique des plus parfaits, qui a fait l'admiration des connaisseurs à l'exposition de Londres.

Quant à son principe en lui-même, ce système n'a, il est vrai, rien de bien nouveau. Le transmetteur est une espèce de composteur mobile dans lequel on assemble les unes à la suite des autres les diverses lettres, qui sont découpées d'avance en signaux Morse, et qui, en passant sous un frotteur interrupteur, peuvent fournir les fermetures et ouvertures du circuit nécessaires pour les transmissions. C'est donc, en principe, l'un des moyens proposés dès l'origine par Morse lui-même. Mais si l'on considère qu'avec des courants induits non redressés une fermeture prolongée du courant ne peut exister, et que des courants inverses se succèdent alternativement; si l'on réfléchit, d'un autre côté, que ces courants ne prennent naissance que par une certaine position des bobines d'induction par rapport à l'aimant générateur, on comprendra aisément les difficultés du problème, et on verra que pour le résoudre il faut : 1° que les mouvements de la bobine induite soient dans un rapport intime avec la marche des lettres sous l'interrupteur; 2° que la position de ces lettres sur le composteur soit déterminée par rapport à la course produite; 3° que les signaux soient découpés de ma-

nière à correspondre à des courants instantanés alternativement renversés. Pour qu'on puisse se faire une idée de l'influence de la forme de ces signaux, supposons qu'un caractère ayant la forme représentée fig. 65 ci-dessous nécessite, pour faire sa course sous le frotteur interrupteur I (fig. 62), quatre

Fig. 62.

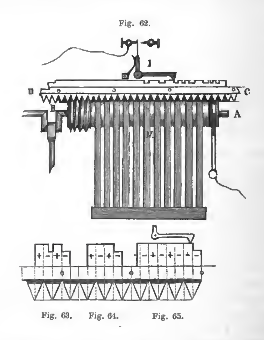


Fig. 63. Fig. 64. Fig. 65.

tours complets de la vis motrice portant la bobine induite. Ces quatre tours auront produit quatre courants induits inverses et quatre courants induits directs, et comme l'interrupteur I se sera toujours maintenu sur la sommité du caractère, le circuit de ligne aura toujours été fermé, et par conséquent les huit courants auront déterminé sur le récepteur quatre petits traits qui représenteront un H, tandis que le caractère, par sa forme, semblerait indiquer un T. Si les intervalles compris

entre les lignes ponctuées tracées sur la figure représentent les périodes pendant lesquelles les courants induits agissent positivement ou négativement sur le circuit, et si nous admettons que le courant envoyé au commencement du passage de la lettre ne soit pas dirigé dans le sens convenable pour la production d'une marque sur le récepteur, les courants correspondant aux intervalles marqués + produiront les points, et les courants correspondant aux intervalles marqués — représenteront les intervalles blancs. Maintenant, nous allons examiner les conséquences qui résultent de la largeur plus ou moins grande du dernier intervalle +; mais auparavant il est nécessaire que nous disions que l'électro-aimant du récepteur, construit comme celui représenté page 269, maintient après la rupture du circuit son armature dans sa dernière position. Si l'intervalle dont nous parlons a la largeur des autres, le point marqué sur le récepteur a d'abord la longueur des points primitifs ; mais comme l'effet magnétique déterminé se trouve maintenu au moment de l'ouverture du circuit, ce point se trouve continué après l'abaissement du frotteur I, et au lieu d'un point sur le récepteur on a un trait. Si, au contraire, l'intervalle + en question a beaucoup moins de largeur que les autres, comme dans la figure 65, le courant qui en résulte n'a que juste le temps d'incliner convenablement l'armature de l'électro-aimant du récepteur, et la marque est produite sous l'influence de l'inertie magnétique due à la rupture du circuit; on n'obtient alors qu'un trait court sur le récepteur, et voilà pourquoi le caractère de la figure 65 transmet l'H.

Par les mêmes raisons, le caractère représenté fig. 64 transmet l'A, car le trait provoqué par le courant de la dernière tranche + est continué par suite de la rupture du circuit et de l'inertie magnétique de l'électro-aimant du récepteur. Le caractère de la fig. 63 transmet l'M, parce que les deux saillies fournissent deux traits allongés, à cause

des deux ruptures de circuit qui résultent de l'entaille du caractère. Ce que nous venons de dire suffit pour montrer que la position des caractères sur le composteur n'est pas indifférente et doit être reliée intimement au mouvement de la bobine d'induction. Pour obtenir sans tâtonnements ce résultat, M. Siemens dispose son appareil de la manière suivante :

Sous le plancher d'une table solidement établie (fig. 62), il fixe son système magnéto-électrique, disposé d'ailleurs comme celui de son télégraphe à cadran; l'axe AB commandant le mouvement de la bobine induite M, et mis en mouvement au moyen d'une bielle et d'une pédale, porte une large vis sans fin (ayant seulement quelques pas), qui engrène avec une crémaillère à dents pointues CD, fixée sous le composteur; les dents de cette crémaillère sont tellement combinées, que la largeur de chacune d'elles correspond exactement à un tour complet accompli par la bobine induite. Le composteur lui-même est composé d'une espèce de tringle en bois contre laquelle appuie une lame métallique un peu flexible qui est sillonnée sur toute sa longueur par une série de raies quelque peu profondes, lesquelles correspondent exactement aux sommets des différentes dents de la crémaillère, et par suite aux diverses positions que doit avoir la bobine induite pour fournir un courant n'ayant pas action sur le récepteur. Les caractères, découpés d'avance, ainsi qu'on l'a vu, et déposés dans des cases comme des caractères d'imprimerie, doivent être introduits entre la lame dont nous venons de parler et la tringle rigide; mais comme ils sont tous pourvus du côté droit d'un petit rebord de cuivre, ils ne peuvent être introduits que quand ce rebord a glissé dans l'une ou l'autre des raies dont il a été question plus haut et qui leur assurent une position convenable. Comme tous ces caractères ont une largeur parfaitement calculée, ils peuvent s'adapter les uns contre les autres et s'emboîter en

même temps dans les raies de repère ; de sorte qu'ils forment un tout compacte qui ne court pas risque de se déranger sous l'influence du frotteur placé en I. Ces composteurs peuvent d'ailleurs se succéder indéfiniment, sans qu'il soit besoin de rien changer à l'appareil, car ils se trouvent maintenus par des coulisses, et une fois mis en prise avec la vis sans fin de l'axe AB, ils sont forcés de continuer leur marche jusqu'au bout.

Le récepteur correspondant à ce système de transmetteur automatique n'est autre chose qu'un récepteur ordinaire auquel a été adapté l'électro-aimant que nous avons déjà vu employer par MM. Siemens et Digney pour d'autres télégraphes (voir pages 247, 269 et 302). On peut facilement transmettre avec cet appareil 400 lettres par minute.

Télégraphe de M. Allan. — Préoccupé de l'idée de réduire le temps de la transmission des dépêches et de faire fonctionner automatiquement les appareils, M. Allan a cherché à combiner un système télégraphique dans lequel les traits allongés des signaux Morse seraient supprimés, et dont le mécanisme entraîneur de la bande de papier, tout en entrant en mouvement sous l'influence du courant transmettant la dépêche, se remonterait également de lui-même par l'action seule du levier imprimeur. A cet effet, son récepteur se compose d'un système oscillant, constitué par une armature de fer doux placée entre les quatre pôles de deux électro-aimants, et qui réagit, d'une part, sur le levier articulé portant le style traceur, et d'autre part sur un système d'encliquetage qui a pour effet de remonter sans cesse, à l'aide d'une roue à rochet, un barillet fixé sur l'axe du cylindre entraîneur de la bande de papier, et dont un système de rouages (réglé par un volant à ailettes) modère l'action. Un relais distribue alternativement, et en temps opportun pour fournir des attractions différemment espacées, le courant d'une pile locale entre les deux électro-aimants, et

sous cette influence l'armature de fer doux oscille de manière à produire les effets que nous venons de mentionner.

L'alphabet de M. Allan ne se composant que de points différemment espacés, comme on le voit ci-dessous,

Lettre	Signal
A	---
B	- -----
C	-- ---
D	-- --
E	-
F	--- --
G	-- ----
H	- ---
I	--
J	- ------
K	---- --
L	---- -
M	- ----
N	- --
O	----
P	----- -
Q	-- -----
R	--- -
S	-- -
T	- -
U	-----
V	----- --
W	--- ---
X	--- ----
Y	------
Z	---- ---

il a voulu rendre la production de ces points complétement indépendante du temps de fermeture du courant sur le transmetteur, en faisant en sorte que l'armature, avant la fin de sa course, soit d'un côté, soit de l'autre, coupât elle-même le circuit correspondant et ne pût le rétablir que lors d'une oscillation contraire. Cette disposition lui fournissait, en outre, l'avantage d'empêcher les étincelles d'oxyder les contacts du relais, avantage assez grand à cause de l'énergie considérable que doit avoir avec ce système la pile locale, pour faire marcher l'appareil récepteur.

Le relais destiné à faire fonctionner l'appareil précédent est composé, comme on le voit fig. 66 ci-contre, d'un électro-aimant E, entre les pôles duquel oscille un levier aimanté AB. Suivant le sens du courant transmis à travers la ligne, ce levier va buter contre la vis C ou la vis D et ferme le courant de la pile locale à travers l'un ou l'autre des électro-

aimants du récepteur, ainsi qu'on l'a vu plus haut; mais quel que soit le côté où il a été poussé, ce levier reste toujours dans la dernière position qu'il a prise, en raison de l'action du

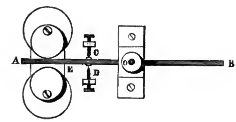


Fig. 66.

magnétisme rémanent de l'électro-aimant; ce qui n'exerce, du reste, aucun effet sur la transmission, puisque le courant ainsi fermé se trouve coupé sur le récepteur.

Le manipulateur-clef consiste dans une bascule placée à l'une des extrémités du récepteur, et qui est disposée de manière à former commutateur à renversement de pôles. Cette bascule est inclinée en temps ordinaire sous l'influence d'un ressort, de manière que le courant de la pile de ligne incline le relais convenablement pour maintenir l'armature oscillante du récepteur contre celui des deux électro-aimants qui ne doit pas produire d'impressions. Quand cette bascule est abaissée, un courant de sens contraire sillonne la ligne et détermine l'impression d'un point; quand elle se relève, l'armature du récepteur se relève également et se trouve disposée de manière à fournir l'impression d'un nouveau point qui pourra être plus ou moins rapproché du premier, suivant que les abaissements de la bascule se seront suivis plus ou moins promptement.

M. Allan préfère néanmoins à ce transmetteur-clef un transmetteur automatique qu'il a adapté également à son ap-

pareil, et qui consiste dans une roue à dents rondes qui entraîne une feuille de papier découpée d'une manière analogue à celle du télégraphe automatique de Wheatstone, mais qui n'a qu'une seule rangée de trous. Le commutateur à renversement de pôles est alors mis en action sous l'influence du passage successif de ces trous et reproduit mécaniquement les mouvements que ferait la clef pour transmettre les mêmes signaux. Un appareil perforateur, muni d'autant de touches qu'il y a de lettres dans l'alphabet, permet de découper d'un seul coup chacune des combinaisons qui représentent ces différentes lettres; de sorte que la composition des dépêches est extrêmement facile avec ce système.

Télégraphe automatique de M. Renoir. — Ce système ne diffère de celui de MM. Digney, que nous avons décrit précédemment, qu'en ce que le perforateur, au lieu de fournir des éléments de signaux de l'alphabet Morse, découpe d'un seul coup ces signaux dans leur entier, par l'effet de l'abaissement d'une touche particulière correspondant à chacun d'eux. Ce perforateur n'est donc, par le fait, qu'un manipulateur à clavier disposé de manière à fournir une découpure des signaux au lieu d'une transmission.

Pour obtenir ce résultat, M. Renoir adapte à l'extrémité de quatorze longs leviers articulés sur le même axe et soulevés à l'aide de ressorts à boudin, quatorze lames d'acier dont l'extrémité inférieure, taillée en biseau, peut former emporte-pièce. Ces lames ou couteaux sont disposées transversalement par rapport aux leviers qui les supportent et sont serrées suffisamment les unes contre les autres pour qu'étant toutes abaissées en même temps, elles puissent fournir sur une bande de papier placée au-dessous d'elles une rainure continue égale en longueur à la somme de leurs largeurs respectives, c'est-à-dire à 56 millimètres (chacune d'elles ayant 4 millimètres de largeur). Inutile de dire que ces lames sont guidées par deux rainures, de manière à s'appliquer

exactement sur le papier, qui se trouve lui-même pris entre deux plaques munies de rainures.

Avec cette disposition on comprend facilement que, si on appuie sur le premier levier, par exemple, on pourra obtenir sur la bande de papier dont nous venons de parler un trou de 4 millimètres. Ce trou pourra représenter la lettre E. En abaissant à la fois le premier et le troisième levier on obtiendrait un I, c'est-à-dire deux trous de 4 millimètres séparés par un intervalle de même largeur. De même, si l'on avait abaissé le levier n° 1 et les leviers 3 et 4, on aurait obtenu un A, car on aurait eu un trou de 4 millimètres, suivi de deux autres trous contigus l'un à l'autre et ne formant qu'un seul et même trou de 8 millimètres. Suivant donc l'ordre et la quantité des leviers qu'on abaisse en même temps, on peut obtenir d'un seul coup la perforation des différentes lettres et signaux employés dans la télégraphie Morse. Or, pour obtenir mécaniquement et sans contention d'esprit ces combinaisons, M. Renoir a placé en croix au-dessus du système de leviers décrit précédemment un second système composé de quarante-sept lames très-minces également articulées sur le même axe et très-rapprochées les unes des autres. Chacune de ces lames porte une série irrégulière de dents en correspondance avec les différents leviers du premier système et disposées entre elles de manière à composer les différents signaux : elle se trouve, en outre, munie d'une touche sur laquelle est inscrite la lettre ou le signal qu'elle représente et qui fait partie du clavier dont nous avons parlé précédemment. On comprend facilement qu'avec une pareille disposition il suffit d'appuyer le doigt sur l'une ou l'autre de ces touches pour qu'immédiatement les leviers contre lesquels viennent appuyer les dents de cette touche se trouvent abaissés, et pour que les couteaux correspondants entaillent la lettre ou le signal demandé.

La grande difficulté à résoudre dans le problème que

s'était proposé M. Renoir, n'était pas tant de produire d'un seul coup la perforation des différents signaux de l'alphabet Morse que d'obtenir automatiquement un recul convenable de la bande de papier après chaque découpure. On comprend, en effet, que la lettre L, par exemple, qui occupe un espace de 32 millimètres, exigera un recul du papier huit fois plus grand que la lettre E, qui n'occupe qu'un espace de 4 millimètres. Or, pour obtenir ce résultat, M. Renoir avait, dans l'origine, adapté à son appareil un système de double laminoir commandé par une roue à rochet sur laquelle réagissait une crémaillère arquée portée par un levier articulé; la partie supérieure de ce levier était inclinée par rapport à la ligne de couteaux, de façon que ceux-ci, dans leur course, ne pussent l'abaisser que d'une quantité en rapport avec celle dont le laminoir devait tourner pour faire avancer convenablement le papier. Comme parmi les couteaux abaissés en même temps celui qui était placé le plus près de l'axe de rotation du levier était celui qui déterminait la réaction, il était facile, en faisant partir tous les signaux du levier correspondant au premier couteau, de résoudre le problème. Toutefois, M. Renoir, par des motifs qu'il est facile de deviner, a dû renoncer à rendre le laminoir directement dépendant de l'action mécanique provoquée par l'abaissement des couteaux, et il a préféré avoir recours pour cela à un mécanisme d'horlogerie commandé par un échappement. De cette manière, quand, après avoir pressé une touche quelconque, on relève le doigt, l'échappement fonctionne et le laminoir, obéissant au mouvement d'horlogerie, tourne de la quantité nécessaire en entraînant la bande de papier.

Système de M. Humaston. — M. Humaston a voulu résoudre le même problème que M. Renoir, et il y est arrivé par des moyens sinon analogues quant aux effets mécaniques produits, du moins semblables quant aux résultats fournis. Ainsi M. Humaston, comme M. Renoir, découpe sur la même

ligne et d'un seul coup les différents signaux Morse (sur une bande de papier), à l'aide d'un manipulateur à clavier. J'ignore lequel des deux systèmes a précédé l'autre, mais ce qui est certain, c'est que celui de M. Humaston a été breveté en 1857.

Dans le système de M. Humaston une série de poinçons, tous égaux à celui devant produire un point simple, se trouvent juxtaposés sans laisser aucun intervalle entre eux, afin que si deux, trois, quatre de ces poinçons contigus venaient à agir, ils pussent produire des trous longs, égaux à deux, trois ou quatre fois la longueur d'un point simple. Une roue dite des types est placée en regard de cette série de poinçons, de manière à présenter en creux, comme les cartons d'une jacquart, les divers groupes de traits et de points correspondants aux caractères Morse. Cette roue est manœuvrée à l'aide d'un système de rouages, de cordons et de ressorts, combinés de telle sorte, que lorsqu'on abaisse la touche du clavier affectée à telle lettre ou à tel chiffre, la roue des types vienne présenter à l'action des poinçons les creux correspondants aux groupes de signaux de ladite lettre.

En conséquence, les poinçons qu'actionne un mécanisme particulier assez compliqué lui-même pénètrent à travers le papier dans tous les endroits correspondants à ces creux, et l'épargnent partout ailleurs. Cela fait, le papier se déplace d'une quantité en rapport avec la longueur de la lettre perforée à l'aide d'un autre mécanisme commandé par la roue des types. Mais toutes ces actions diverses ne s'obtiennent qu'à l'aide d'agents multiples, délicats et très-faciles à déranger.

Système de MM. Digney. — MM. Digney ont considérablement simplifié le système précédent en supprimant le clavier à touches et en disposant l'appareil d'une manière très-analogue au manipulateur des télégraphes à cadran ordinaires.

Au lieu de l'enchevêtrement de cordons, de ressorts, de mouvements de toutes sortes reliant, dans le système Humaston, le clavier au mécanisme perforateur, le cadran porte lui-même les agents qui, sous la pression d'un levier, doivent produire la perforation des signaux Morse correspondant aux caractères alphabétiques inscrits sur ce cadran. Pour obtenir cette perforation, il suffit de tourner la manivelle jusqu'à ce qu'on ait amené vis-à-vis d'un repère fixe la lettre à perforer; on appuie alors sur un levier qui abaisse lui-même et fait pénétrer à travers le papier un groupe de poinçons représentant ladite lettre dans la langue Morse. On laisse le levier se relever de lui-même et on appuie ensuite sur une petite manette qui, en décrivant un arc de cercle proportionnel à la longueur de la lettre qu'on vient de perforer et en retournant elle-même à son point de départ, fait avancer le papier de la quantité nécessaire.

MM. Digney ont disposé cet appareil de deux manières différentes : dans l'une de leurs dispositions, la perforation de chaque caractère est obtenue par un groupe particulier de poinçons qui lui est exclusivement réservé et qui étant fixé sur le cadran mobile se déplace avec lui. Dans l'autre, cette perforation s'effectue à l'aide d'un système unique de poinçons qui ne se déplace pas et avec lequel se trouvent mis successivement en rapport, par suite du mouvement de rotation du cadran, certains groupes de saillies ou de doigts correspondant aux caractères à perforer, lesquels viennent choisir en quelque sorte ceux des poinçons qui conviennent à cette perforation.

Dans les deux cas, les emporte-pièces sont espacés entre eux d'une quantité égale à l'intervalle qui doit séparer deux signaux successifs (point ou trait) dans une même lettre, et le papier passe entre les poinçons et les matrices dans lesquelles ceux-ci doivent pénétrer.

Télégraphe sous-marin de M. Siemens. — Si l'on considère

que les effets de condensation produits sur les lignes sous-marines déterminent à la station de départ, après chaque émission du courant de ligne, un courant de décharge qui est précisément de sens contraire au courant transmis, on comprend aisément que plusieurs émissions successives de courant, effectuées dans le même sens, pourront avoir leur effet considérablement diminué par l'action de ces courants contraires. Pour remédier à cet inconvénient, on a cherché à disposer les transmetteurs télégraphiques de manière à décharger la ligne avant de produire les émissions de courant; mais le problème peut être plus simplement résolu en faisant en sorte que les appareils télégraphiques soient mis en action sous l'influence de courants alternativement renversés.

C'est sur ce principe, qui n'est du reste pas nouveau, qu'est fondé le système de M. Siemens. Au premier abord, rien ne paraît plus simple que la solution du problème, puisqu'on n'a que l'embarras du choix en fait de systèmes télégraphiques fondés sur l'emploi de courants renversés. Mais il n'en est plus de même quand on recherche quelle est la meilleure manière de produire ces courants renversés dans des conditions données. Avec le système électro-magnétique adopté par M. Siemens, le calcul et l'expérience montrent en effet que l'emploi de deux piles pour obtenir ce renversement est grandement préférable à celui d'une seule; car pour mettre l'appareil dans ses meilleures conditions de sensibilité, il est nécessaire de pouvoir faire prédominer dans une mesure voulue celui des deux courants renversés qui doit fournir les contacts sur le relais, ou l'impression avec un récepteur fonctionnant directement. Or, ce résultat ne peut être obtenu que par l'emploi de deux piles [1]. Dès lors, il s'agissait d'établir un manipulateur basé sur cette

[1]. Sur la ligne de Port-Vendres à Alger l'une des piles a 10 éléments, la seconde 7.

donnée, et voici comment M. Siemens a résolu le problème dans l'appareil représenté ci-dessous, fig. 68.

Fig. 67.

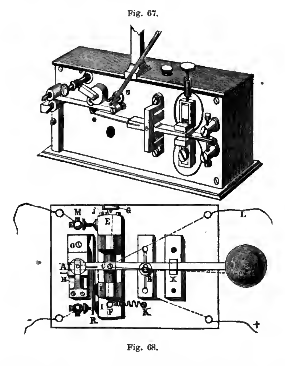


Fig. 68.

Cet appareil n'est qu'une simple clef de Morse, dont le support EF du levier, au lieu d'être fixé sur la planche, peut pivoter sur un axe vertical figuré en C. Ce support métallique est sollicité à tourner du côté droit par un ressort FK ; mais il se trouve maintenu contre une vis butoir M, qui établit la communication avec le récepteur. A son extrémité A le levier-clef appuie sur un ressort H, muni à son extrémité libre d'une petite pièce de contact interposée entre le levier et un butoir rigide adapté sur une pièce O.

Cette pièce elle-même porte une lame de ressort R, qui, étant poussée par deux appendices d'ivoire l, l, peut établir une communication entre O et la pile négative d'une première pile. Enfin, un butoir rigide, placé en B sous le levier-clef et mis en communication avec le pôle positif d'une seconde pile, est disposé de manière à être rencontré par ce levier toutes les fois qu'il est abaissé. Inutile de dire que le support EF est mis en communication avec la ligne.

Pour transmettre avec cet instrument, l'employé doit attirer d'abord vers la gauche le levier-clef et le maintenir dans cette position tout le temps de la transmission, qui s'effectue d'ailleurs comme à l'ordinaire. Or, voici alors ce qui se passe suivant que le levier est soulevé ou abaissé.

Il est résulté d'abord du transport de la clef vers la gauche que la communication avec le récepteur est coupée, et que la pièce O, étant mise en contact avec la pile n° 1 (que M. Siemens appelle *pile contraire*), permet l'envoi d'un courant négatif à travers la ligne. Sous cette influence, l'armature du relais s'est portée sur le butoir, qui ne doit pas provoquer l'impression sur le récepteur. Mais quand le levier est abaissé, le contact de A avec O n'existe plus, et c'est le courant positif de la pile n° 2 qui pénètre dans la ligne par le butoir B. Ce courant, en déterminant une action contraire de l'armature du relais, entraîne le fonctionnement du récepteur.

Pour compléter son appareil, M. Siemens a placé sous le levier-clef un butoir X destiné à empêcher son fonctionnement quand il ne se trouve pas poussé vers la gauche, et il a adapté au support EF un appendice J qui, en rencontrant un instant un butoir élastique porté par une pièce G, quand on tourne la clef, établit une communication momentanée entre la terre et la ligne, et décharge complétement celle-ci avant la transmission.

Le récepteur représenté fig. 67 n'est autre chose que celui

de MM. Digney, auquel a été adapté le système électro-magnétique que nous avons représenté page 269. Comme l'appareil ne doit marcher sous l'influence du relais que par l'émission d'un courant dirigé toujours dans le même sens, l'aimant fixe n'a d'autre fonction que de produire le rappel de l'armature, laquelle doit toujours être plus rapprochée de l'une des deux branches de l'électro-aimant que de l'autre. L'appareil est complété par un système de déclanchement automatique du mécanisme d'horlogerie dont nous parlerons plus tard, et qui a en outre la fonction de déterminer le jeu d'un système de translateur basé sur le principe du manipulateur précédent, et devant, par conséquent, comme lui décharger la ligne avant chaque transmission de dépêche. Ce système télégraphique est employé sur la ligne sous-marine de Port-Vendres à Alger et sur la ligne de Malte à Alexandrie. Il transmet treize mots par minute.

Télégraphe militaire de M. Siemens.—M. Siemens a adapté au système de récepteur dont nous avons parlé précédemment un appareil magnéto-électrique combiné d'après son système et qui permet de réunir dans une simple boîte de petite dimension tout un système télégraphique. M. Siemens a destiné ce système aux usages militaires, et il en a obtenu de très-bons résultats. Dans ce système, le manipulateur-clef est adapté directement au cylindre renfermant la bobine d'induction, laquelle, n'ayant pas besoin de tourner, est terminée par deux masses de fer carrées. Bien qu'un peu plus dur à manœuvrer que les clefs ordinaires, ce manipulateur est mis facilement en action. MM. Digney construisent également cet appareil, et celui qu'ils ont exposé à Londres ne laisse rien à désirer.

Pour obtenir un télégraphe plus économique, M. Siemens a construit un modèle plus simple, dans lequel le mécanisme d'horlogerie est supprimé, et qu'on manœuvre en tirant simplement à la main la bande de papier. L'appareil

magnéto-électrique est également plus simple ; il se compose de deux aimants en fer à cheval placés l'un au-dessus de l'autre, les pôles contraires en regard ; une armature de fer, portant la bobine d'induction, est placée transversalement à travers ces quatre pôles, et se trouve articulée de manière à basculer. Il en résulte que quand on abaisse et qu'on relève cette armature elle s'aimante successivement dans deux sens différents et donne lieu à deux courants induits inverses qui réunissent à la fois les courants d'aimantation et les courants de désaimantation et qui ont relativement une grande énergie.

Télégraphe écrivant de MM. Viney et Gaussin. — MM. Viney et Gaussin ont substitué à la molette imprimante du télégraphe Digney une chaîne sans fin qui a produit d'excellents résultats, tant sous le rapport de la netteté des signaux produits que sous celui du fonctionnement du levier imprimeur

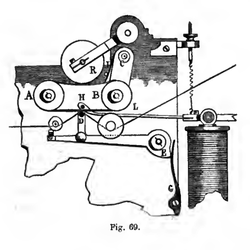


Fig. 69.

et de la marche des appareils en translation. Nous représentons fig. 69 ci-dessus la disposition de ce nouveau système

imprimeur. A et B sont deux poulies d'égal diamètre sur lesquelles est enroulée une chaîne sans fin que vient sans cesse imprégner d'encre un rouleau encreur R. La poulie B est montée sur une pièce qui oscille autour d'un pivot C, et qui, étant repoussée par un ressort I, tient toujours la chaîne convenablement tendue. Un levier DE, articulé en E, porte en D une cheville sur laquelle vient passer la bande de papier, et se trouve maintenu dans une position convenable par rapport à la chaîne, à l'aide d'un butoir et d'un ressort G appuyant sur une came excentrique E. Deux poulies au-dessous desquelles circule la bande de papier maintiennent celle-ci repliée sur la cheville D ; enfin le levier imprimeur L est terminé par une cheville H, qui, en appuyant sur la chaîne, la met en contact avec la bande de papier et lui fait produire l'impression. Ce télégraphe est aujourd'hui très-recherché.

Télégraphe de M. Rouvier. — Dans les anciens appareils français à signaux, comme dans les appareils à cadran, chaque émission de courant, de même que chaque interruption, constitue un signal particulier, et c'est, sans aucun doute, à cette disposition particulière qu'on doit attribuer la grande vitesse de transmission qu'on obtient à l'aide de ces récepteurs.

M. Rouvier, inspecteur des lignes télégraphiques, a eu l'idée de modifier l'appareil Morse, pour arriver au même résultat par une combinaison ingénieuse des deux systèmes, sans toutefois changer le mode de signaux actuellement en usage.

Imaginons un appareil semblable à l'ancien récepteur français à signaux, c'est-à-dire composé d'un mouvement d'horlogerie faisant tourner une roue d'échappement à quatre dents, dont la rotation est arrêtée par l'armature mobile d'un électro-aimant : chaque émission de courant et chaque interruption font tourner cette roue d'un angle de 90°.

L'aiguille en mica est remplacée par un système de deux petites tiges rigides, disposées en croix et portant à leurs extrémités quatre petits pinceaux qui, pendant la rotation, viennent s'imbiber d'encre en plongeant dans un encrier. On peut d'ailleurs remplacer ces pinceaux par quatre petites molettes mobiles, frottant contre des tampons humides, analogues à celles des nouveaux récepteurs de MM. Digney. Une bande de papier se déroule d'un mouvement uniforme sous l'action d'un second mécanisme d'horlogerie. Lorsque la croix qui porte à ses quatre extrémités les pinceaux est à l'état de repos, la bande n'emporte aucune trace; mais si, par suite d'une émission de courant ou d'une interruption, elle vient à tourner de 90°, l'un des pinceaux touche le papier et y laisse une petite marque, qui représente un point. Si la croix tourne de 180°, deux des pinceaux touchent successivement la bande de papier, et comme la rotation de la roue d'échappement est très-rapide, les deux marques se trouvent juxtaposées et leur ensemble donne lieu à un trait.

La manipulation peut donc se faire à l'aide d'un manipulateur d'appareil français ordinaire. En tournant la manivelle d'un angle de 90°, on produit un point, quelle que soit d'ailleurs la position primitive; en la tournant d'un angle de 180°, on détermine la formation d'un trait. Avec un manipulateur Morse, on pourrait obtenir le même résultat, mais la transmission serait, sans doute, plus difficile.

Nouveau télégraphe à deux styles de M. Glœsener. — Bien que les télégraphes écrivants à deux styles n'aient pas encore été admis dans la pratique, on s'occupe toujours de les perfectionner. Nous avons déjà décrit dans notre deuxième volume les systèmes de MM. Steinheil, Stœhrer, Regnard, Glœsener, etc. Aujourd'hui, M. Glœsener en propose un nouveau qu'il regarde comme de beaucoup supérieur à tous les autres.

Le récepteur de ce nouveau système se compose de deux

palettes aimantées A et C (fig. 70), suspendues verticalement l'une à côté de l'autre entre deux électro-aimants d'une forme particulière, et réagissant sur deux tiges T, T′ portant des styles ou des molettes d'impression. Un aimant en fer à

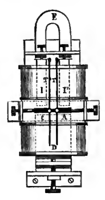


Fig. 70.

cheval, placé au-dessus de ces palettes et dans le même plan qu'elles, tend à les ramener toujours dans le plan de la verticale quand elles en sont déviées.

L'un des électro-aimants, composé d'une bobine aplatie, à l'intérieur de laquelle se trouve une large palette de fer doux D, est placé de manière que cette palette corresponde aux pôles inférieurs (de noms contraires) des deux palettes aimantées. L'autre électro-aimant, à bobine également aplatie, est constitué par deux palettes I, I′, également de fer doux, placées parallèlement à l'intérieur de la bobine et réunies extérieurement à celle-ci par un aimant E qui communique à l'une une polarité sud et à l'autre une polarité nord. Ces deux palettes sont, bien entendu, disposées devant les deux extrémités des palettes aimantées, et peuvent être reculées ou avancées à l'aide de vis de rappel.

Le transmetteur consiste dans une clef disposée de façon à renverser alternativement le courant, suivant qu'elle est poussée d'un côté ou de l'autre, et à fournir des interruptions pour chaque sens du courant. Cette disposition, qui se devine aisément, peut être combinée de bien des manières différentes, et M. Glœsener en indique deux qu'il regarde comme également bonnes[1]. Or voici comment fonctionne ce système télégraphique :

Si on envoie un courant positif à travers l'appareil, l'une des deux palettes de fer de l'électro-aimant double se trouve dépolarisée et prend même un excès de magnétisme contraire à celui qui lui est communiqué par l'aimant fixe, tandis que la polarité de l'autre palette se trouve renforcée. Celle-ci peut alors réagir sur la palette aimantée suspendue devant elle et provoquer l'abaissement du style correspondant, tandis que l'autre restera inerte. Toutes les interruptions faites sur ce courant positif n'auront par conséquent d'action que sur le même style. Quand on renversera le courant, les effets seront nécessairement renversés, et ce sera le second style qui deviendra actif. C'est pour assurer l'inertie de l'une des palettes de l'électro-aimant double et renforcer l'action de l'autre qu'a été ajouté le second électro-aimant à palette unique.

M. Glœsener décrit, dans son *Traité général des applications de l'électricité*, plusieurs autres systèmes de télégraphes écrivants qu'il a imaginés ; mais comme ces télégraphes, sauf l'emploi d'armatures aimantées, se rapprochent de tous les télégraphes connus, nous n'en parlerons pas davantage, nous contentant de renvoyer le lecteur aux descriptions qu'il en a faites (voir tome I, pages 144, 152 et 160 de cet ouvrage).

1. Voir son *Traité général des applications de l'électricité*, tome I, pages 147 et 149.

Télégraphe à deux styles de M. Hipp. — Le télégraphe à deux styles de M. Hipp est fondé sur un principe analogue à celui de M. Hughes, c'est-à-dire sur la mise en action des leviers imprimeurs sous l'influence d'une répulsion des armatures des deux électro-aimants destinés à réagir sur eux. A cet effet ces armatures, qui se trouvent d'ailleurs fortement polarisées par de petits aimants en fer à cheval placés à portée, sont adaptées au mécanisme d'horlogerie (qui doit entraîner la bande de papier), de telle manière qu'après avoir été momentanément détachées des électro-aimants sous l'influence électrique, elles se trouvent immédiatement et mécaniquement ramenées en contact avec eux. De cette manière, l'action électrique s'effectue dans ses conditions de maximum, et les impressions, qui ne sont alors, il est vrai, que des points, se trouvant déterminées par le mécanisme d'horlogerie lui-même, sont indépendantes de l'intensité électrique.

L'alphabet de M. Hipp est, du reste, exactement le même que celui de M. Wheatstone, représenté page 280, et pour en obtenir la reproduction des différentes lettres, avec l'appareil dont nous venons de parler, il a suffi à ce savant de disposer les électro-aimants de telle manière que l'un fût actif pour un certain sens du courant, alors que l'autre ne pouvait l'être que pour le sens opposé du même courant. M. Hipp, comme M. Wheatstone, voit d'ailleurs dans ce système alphabétique de grands avantages sous le rapport de la célérité des transmissions.

Le manipulateur de ce nouvel appareil est à clavier et peut transmettre, suivant l'auteur, environ 180 lettres par minute. Inutile de dire que l'on peut appliquer à ce système les courants induits ou les courants de pile.

Télégraphe à deux styles de M. Renoir. — Ce système n'est, à proprement parler, qu'un télégraphe Digney, ayant deux leviers imprimeurs au lieu d'un, et un transmetteur automa-

tique analogue à celui que nous avons décrit page 287. Cet appareil fonctionne sous l'influence de courants traversant, soit dans un sens, soit dans l'autre, deux électro-aimants dont les armatures, placées dans le prolongement des leviers imprimeurs, se trouvent polarisées par deux électro-aimants droits, animés par le courant d'une pile locale.

La transmission s'effectue avec une bande de papier découpée par un système de perforateur analogue, quant au principe, à celui que nous avons décrit page 296, et disposé de manière à fournir les découpures des signaux sur deux lignes. Une particularité du système de M. Renoir, c'est que toutes les lettres alphabétiques sont constituées par des points, tous les chiffres par des traits et les autres signes par des traits combinés avec des points; de sorte que du premier coup d'œil il est facile de distinguer quel genre de lecture on a à faire. Le nombre d'émissions de courants ne dépasse pas d'ailleurs quatre pour les différentes lettres de l'alphabet.

M. Renoir a cherché à adapter ce système d'écriture des signaux Morse sur deux lignes aux récepteurs électro-chimiques, et voici la manière simple et ingénieuse dont il a résolu ce problème :

Tout le secret du procédé consiste à isoler le rouleau métallique sur lequel appuie la bande de papier préparée au cyano-ferrure de potassium, de faire appuyer sur cette bande deux styles de fer ou de cuivre, et de mettre l'un en rapport avec la terre, alors que l'autre communique avec la ligne. On comprend, en effet, qu'il doit advenir de cette disposition que, quand on envoie des courants positifs, le style en rapport avec la ligne marque des traits ou des points, tandis qu'en envoyant des courants négatifs c'est le style en rapport avec la terre qui remplit cette fonction, puisqu'il représente alors par le fait l'électrode positive.

Télégraphes écrivants à armature libre. — Pour résoudre le problème de donner aux télégraphes à molette, fonction-

nant sans relais, la possibilité de faire les appels au moyen du bruit produit sur la vis-butoir servant à la translation, il fallait faire en sorte de rendre le levier imprimeur libre dans ses mouvements, en empêchant sa chute d'être amortie par la flexion du couteau contre la bande de papier. Quand les appareils doivent fournir un appel, ils ne transmettent pas, bien entendu, et il est par conséquent inutile que le couteau vienne alors appuyer contre la molette imprimante.

Au premier abord, la solution du problème paraît simple, et on pourrait croire qu'il suffirait, pour l'obtenir, de serrer la vis régulatrice du couteau de manière que celui-ci ne puisse plus appuyer contre la molette; alors une seconde vis-butoir servirait de repère pour rétablir le couteau dans sa position primitive. Cette manière de résoudre la question a même été proposée par M. Sortais. Mais il est facile de voir que ce moyen exige du soin et ne peut être appliqué pendant le temps que l'électro-aimant fonctionne; il entraîne donc une perte de temps, et n'est même pas d'une disposition commode pour les employés. Le problème est plus complexe, car il arrive souvent, dans les transmissions télégraphiques, que tous les avis envoyés n'ont pas besoin d'être imprimés, et si, pour passer d'un simple avis à l'impression d'une dépêche qui peut suivre immédiatement, il fallait arrêter le jeu de l'armature de l'électro-aimant et régler la vis dont nous avons parlé, non-seulement on perdrait beaucoup de temps, mais on s'exposerait encore à couper la dépêche et à nécessiter sa répétition. Le même défaut peut être reproché au système proposé par MM. Digney, qui consistait à articuler sur le levier la lame du couteau imprimeur et à l'enclancher dans deux positions différentes au moyen de deux cames appuyant contre un ressort, à la manière des lames de canif. En écartant la lame de la molette imprimante, on rendait, il est vrai, le levier

portant l'armature de l'électro-aimant parfaitement libre dans ses mouvements, mais l'inconvénient signalé précédemment n'en existait pas moins. Le problème a été résolu définitivement dans les ateliers de l'administration des lignes télégraphiques, au moyen d'une disposition que nous représentons ci-dessous, et qui a pour effet de relever la molette

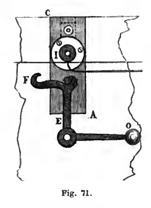
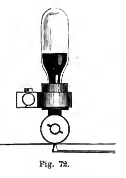


Fig. 71.

imprimante A, en soulevant verticalement, au moyen d'une excentrique EF, une partie de la platine de l'appareil, sur laquelle sont montées les différentes pièces qui sont en rapport avec elle. Pour obtenir cet effet, cette partie de la platine glisse dans une double rainure à biseau et se trouve sollicitée en sens contraire de l'action de l'excentrique au moyen d'une lame de ressort. L'excentrique EF étant pourvue d'un manche O, il est aussi facile à l'employé de disposer son appareil pour l'impression que de soulever l'un des rouleaux du laminoir de la bande de papier ou de déclancher le mouvement de son appareil. Cette disposition est maintenant adaptée à tous les télégraphes à molette de l'administration qui doivent fonctionner sans relais.

Télégraphes à encrier de M. Siemens. — Malgré la facilité

avec laquelle on peut changer les rouleaux encreurs dans le système Digney et les charger d'encre, on pouvait désirer que ce soin fût rendu moins fréquent, et dans ce but M. Siemens a combiné plusieurs systèmes télégraphiques à encrier dont nous représentons ci-dessous le plus acceptable, bien qu'à vrai dire nous préférions toujours le simple rouleau encreur.


Fig. 72.

Il consiste simplement dans une petite bouteille remplie d'encre oléique qui est renversée et dont le bouchon en flanelle frotte contre la molette imprimante. Ce bouchon est toujours imprégné d'un excès d'encre par capillarité et le communique à la roue tournante. Nous croyons toutefois que ce mode de communiquer l'encre est moins sûr que celui avec le rouleau, car le frottement produit doit, par suite de la rotation de la roue, essuyer une partie de l'encre déposée. Quoi qu'il en soit, ce moyen vaut encore mieux que la cuvette remplie d'encre dans laquelle M. Siemens fait tourner la molette de plusieurs de ces appareils. Ce système avait suffi à lui seul pour faire rejeter une première fois les appareils de M. Thomas John.

Télégraphes à déclanchement. — Il y a trois ans environ, l'administration des lignes télégraphiques avait proposé aux

inventeurs, comme problème important à résoudre pour le service télégraphique, de faire opérer automatiquement le déclanchement des appareils Morse. Ce problème avait été déjà, il est vrai, résolu par M. Morse lui-même, et depuis par plusieurs inventeurs, entre autres M. Regnard; mais les solutions proposées n'avaient pas paru sans doute satisfaisantes, puisque le problème avait été de nouveau mis à l'étude. Une foule d'inventeurs répondirent immédiatement à l'appel de l'administration, et de nombreux systèmes (plus de quarante), parmi lesquels nous citerons ceux de MM. Sortais, Siemens, Flouard, Carbonel, Bourseul, Berty, Sambourg, Brassart, Besse-Bergier, Guyot, Anfonso, Ailhaud, Alexis, Cuche, Mazet, Beaunis, Latour-Dubreuil, Pety, Faure, Gramaccini, Salus, Leclercq, Davy, Miege, Meyer, Dheu, Joly, Fulcrand, Brisson, Vasseur, Mairesse, Sauvage, Bastien, Coustou, Mouilleron, Genty, Bizot, Gillet, etc., etc., furent présentés; mais bien que toutes les conditions voulues aient été remplies dans la plupart de ces systèmes, l'administration des lignes télégraphiques d'alors, ayant réfléchi davantage sur l'opportunité de la question, et pensant sans doute qu'un moyen si facile d'imprimer les dépêches pourrait endormir la vigilance des employés ou provoquer de leur part des absences qu'on ne pourrait pas contrôler, trouva qu'il valait mieux en rester là, et l'essai de tous les systèmes proposés fut ajourné indéfiniment, au grand désappointement de leurs auteurs. Quoiqu'il puisse y avoir un peu de vrai dans les craintes de l'administration, nous ne pouvons admettre que ces motifs soient suffisants pour faire renoncer aux avantages qui peuvent résulter de l'introduction dans les appareils d'un semblable système, et dont le moindre serait de permettre de confier à un même employé le service de plusieurs lignes dans les bureaux de médiocre importance. Il ne faut pas, d'ailleurs, toujours prévoir le mal, et je ne sais jusqu'à quel point une trop

grande défiance a entraîné plus de résultats heureux qu'une trop grande confiance. Quoi qu'il en soit, étant convaincu qu'un jour ou l'autre les systèmes de déclanchement automatique seront introduits dans les appareils écrivants, nous allons décrire ceux de ces systèmes qui présentent les dispositions les plus originales, et nous commencerons par celui de M. Sortais, qui paraît être le meilleur de tous.

Système Sortais. — Le problème à résoudre pour obtenir dans de bonnes conditions le déclanchement automatique des télégraphes écrivants ne laisse pas que d'être assez complexe; il faut, en effet, que le déclanchement puisse s'opérer instantanément sous l'influence même de l'action électro-magnétique qui met en jeu le style écrivant; et il faut de plus que ce déclanchement ne se maintienne que pendant le temps seulement que dure la transmission de la dépêche; par conséquent, le mécanisme destiné à le produire doit être susceptible de fournir un enclanchement quelques instants après que l'appareil électro-magnétique a cessé de fonctionner. Enfin, il faut que ce même mécanisme puisse fonctionner avec une force excessivement minime, car il ne doit pas être un obstacle à l'action de l'électro-aimant de l'appareil qui, dans les récepteurs perfectionnés actuellement en usage, doit fonctionner sans relais, par conséquent, avec le courant de ligne.

Ces différentes conditions ont été résolues dans le mécanisme proposé par M. Sortais, que nous représentons ci-contre, fig. 73. Il consiste essentiellement dans une roue à rochet G portant un levier d'embrayage *h*, et sur laquelle réagit l'un des mobiles du mécanisme d'horlogerie de l'appareil télégraphique, et dans un cliquet de retient E mis en action par le levier de l'électro-aimant imprimeur, par l'intermédiaire de la goupille *d'*. Le levier embrayeur *h* est équilibré par un contre-poids *i'* qui tend à l'entraîner en dehors du volant modérateur, sur lequel il doit réagir

pour produire l'arrêt du mécanisme; mais à l'état normal il ne peut céder à ce mouvement à cause du cliquet de retient qui maintient la roue à rochet dans une position déterminée; alors il bùtte contre un doigt d'arrêt n adapté à l'axe du volant. Le mouvement transmis par le

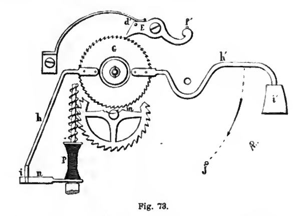


Fig. 73.

mécanisme d'horlogerie à la roue à rochet s'effectue par l'intermédiaire d'une dent m fixée à l'axe de l'avant-dernier mobile, laquelle à chaque révolution de celui-ci fait avancer d'un cran le rochet. Or, voici ce qui se passe quand l'appareil est mis en action :

Sous l'influence de l'électro-aimant, le cliquet de retient du rochet se trouve écarté, et comme celui-ci ne se trouve plus soutenu, le levier h qu'il porte est entraîné par son contre-poids et le déclanchement est effectué. Si l'action mécanique ne se prolonge pas, le cliquet de retient du rochet se trouve en prise avec lui, et à chaque tour de l'avant-dernier mobile du mécanisme d'horlogerie, le rochet remonte d'une dent; le levier d'embrayage s'abaisse, rencontre bientôt, après un certain nombre d'impulsions du

rochet, le doigt *n* de l'axe du volant modérateur et arrête le mouvement de l'appareil. Maintenant si plusieurs attractions provoquées par l'électro-aimant se succèdent à des intervalles assez rapprochés, le rochet, sans cesse dégagé de son cliquet de retient, ne peut remonter à la hauteur voulue pour produire l'enclanchement, et le mécanisme continue à marcher malgré les interruptions de l'action magnétique. Ce n'est que quand ces interruptions durent un temps suffisant que l'arrêt a lieu. Le problème se trouve donc ainsi résolu.

Quoique cette disposition paraisse bien simple en elle-même, il était nécessaire cependant, pour assurer le bon fonctionnement de l'appareil, de tenir compte de certaines réactions qui auraient pu entraver sa marche régulière : il fallait faire en sorte : 1° que la dent *m*, appelée à réagir sur le rochet, ne pût jamais être en prise avec cette roue au moment de l'arrêt du mécanisme ; 2° que le cliquet de retient pût se dégager de la dent du rochet de la manière la plus douce possible ; 3° que l'électro-aimant ne pût réagir sur ce cliquet qu'au moment de sa plus grande force. M. Sortais a satisfait à ces différentes conditions en plaçant le doigt d'arrêt du volant *n* sur un ressort en spirale P fixé sur l'axe de ce volant, en donnant peu de surface frottante au bec du cliquet de retient du rochet et en ne faisant réagir le levier de l'électro-aimant que vers la fin de sa course.

Avec cette disposition, le déclanchement automatique de l'appareil, qui n'exige pas un gramme de force électro-magnétique pour se produire, peut s'effectuer facilement et l'appareil fonctionner sans relais comme les télégraphes ordinaires.

Système Siemens. — Le système de déclanchement automatique de M. Siemens consiste essentiellement dans une bascule d'embrayage en fer doux CD, terminée d'un côté par un ressort arqué BD qui peut embrayer un disque D fixé sur

l'axe du volant, et terminée de l'autre côté par une petite palette A servant d'armature à un petit électro-aimant supplémentaire E introduit dans le circuit de la ligne. Une tige IH, articulée au premier des deux bras de cette bascule,

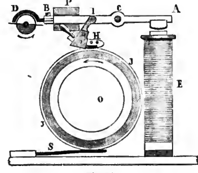


Fig. 74.

porte une petite pièce arquée H en ivoire, qui peut rester librement suspendue ou être mise en contact avec un disque O adapté sur l'axe d'un des mobiles du mouvement d'horlogerie, suivant que l'électro-aimant qui agit sur la bascule est actif ou inerte.

Quand on transmet, ce qui suppose un envoi successif de courants à de courts intervalles, cette pièce arquée danse continuellement sur la circonférence du disque placé au-dessous d'elle sans qu'elle puisse le suivre dans son mouvement, et la bascule DC ne peut jamais descendre assez bas pour embrayer le disque du volant. Mais quand le circuit reste interrompu pendant quelques instants, cette pièce arquée s'engrène par frottement avec le disque sur lequel elle repose et se trouve repoussée de côté avec la tige qui la supporte; celle-ci ne forme plus alors arc-boutant, et la bascule, devenue libre de s'abaisser, embraye le mouvement de l'axe du volant.

Voici maintenant comment M. Siemens a appliqué ce mécanisme au jeu du translateur dans l'appareil que nous avons décrit page 300.

Sur l'axe C il fixe en dehors des platines de l'appareil un long levier formant bascule et pouvant appuyer, soit d'un côté, soit de l'autre, sur deux butoirs réglés de manière à correspondre aux écarts extrêmes du levier CA. L'un de ces butoirs correspond au relais, l'autre au levier imprimeur du récepteur, et la bascule elle-même est mise en rapport avec le fil de ligne qui doit fournir la translation. Comme les deux butoirs entre lesquels oscille le levier imprimeur sont mis en rapport, l'un (fig. 67, page 302) avec le pôle positif de l'une des piles, l'autre avec le pôle négatif de l'autre pile, on comprend facilement que ce levier imprimeur puisse fournir des courants alternativement renversés à travers la ligne (qui doit produire la transmission par translation), quand le mécanisme déclancheur sera mis en action. De plus, si une pièce métallique est adaptée sur l'arc I, de manière à rencontrer un peu avant l'arrêt du mécanisme un anneau métallique J fixé sur le tambour O et mis en communication avec la terre, on pourra obtenir, comme avec le manipulateur décrit page 302, la décharge de la ligne avant la transmission de chaque dépêche.

Ce système de déclanchement par l'addition d'un second électro-aimant a été combiné de diverses manières par MM. Sauvage, Miége, Davy, mais dans des conditions si peu favorables que nous nous dispenserons d'en parler.

Nous en dirons autant des systèmes de MM. Bastien et Coustou, qui, pour éviter les frais de ce second électro-aimant, adaptent à celui du levier imprimeur une seconde armature dont l'action opère le déclanchement ou le renclanchement du mécanisme, soit sous l'influence de courants dans des directions opposées, soit sous l'influence du courant simple, mais avec addition d'une roue de débrayage

marchant assez lentement. Ces messieurs semblent ignorer qu'avec deux armatures la force magnétique se divise, et que le levier imprimeur est plus affecté par cette division de l'action magnétique que par la réaction mécanique qu'il aurait à produire pour déterminer le même résultat.

Les systèmes de MM. Guyot et Anfonso, qui sont très-analogues, sont fondés sur l'action d'une détente adaptée au levier imprimeur, qui peut, par l'intermédiaire d'un bras ou d'une roue à cran montée sur l'axe de l'un des mobiles du mécanisme d'horlogerie, arrêter ou dégager le mouvement de celui-ci. Toutefois, comme ce bras ou cette roue à cran ne tient à l'axe du mobile que par l'intermédiaire d'un ressort spiral, le mécanisme d'horlogerie ne peut être arrêté instantanément, et il faut, pour que cet arrêt ait lieu, que la tension du ressort spiral, qui se replie sur lui-même sous l'influence d'un renclanchement prolongé de la détente, soit suffisante pour contre-balancer la force motrice du mobile sur lequel il est fixé. Il résulte donc de cette disposition que, tant que les interruptions du courant qui met en jeu le levier imprimeur se succèdent avec rapidité, la détente, en se relevant, n'exerce qu'un arrêt momentané sur le bras ou la roue adaptée au spiral, et celui-ci se détend toujours au moment où il commence à se tendre, de sorte que le mécanisme continue toujours à marcher; mais quand l'interruption se prolonge, le spiral atteint bientôt la tension suffisante pour provoquer l'arrêt du mécanisme.

L'inconvénient de ce système est d'apporter à l'uniformité du mouvement d'horlogerie certaines perturbations quand il est adapté sur le dernier mobile, ou de nécessiter une certaine force pour mettre en jeu la détente quand il est appliqué sur l'un des premiers mobiles.

Le système de M. Cuche consiste à adapter à l'axe de l'avant-dernier mobile du mécanisme d'horlogerie une vis

sans fin dans le pas de laquelle s'engage une tige d'acier très-flexible maintenue par une de ses extrémités sur une pièce rigide; le levier imprimeur, au moyen d'une petite traverse, peut réagir sur cette tige de telle manière que quand il est soulevé la tige appuie sur le pas de vis, et que quand il est abaissé elle se trouve rejetée en dehors. Cette tige, d'ailleurs, étant conduite par le pas de vis, peut rencontrer, après un certain nombre de tours du mobile, les ailettes du volant modérateur du mécanisme, lequel se trouve ainsi arrêté. Or, on comprend facilement qu'avec cette disposition une fermeture du courant doit avoir pour effet le débrayage du mécanisme, puisque la tige flexible qui produit l'embrayage se trouve repoussée, et vient se reporter sur la vis au point opposé d'où elle était partie primitivement. Plusieurs fermetures successives du courant n'ayant pour effet que de replacer sans cesse cette tige à son point de départ, l'embrayage ne peut avoir lieu; mais une interruption prolongée du courant permettant à la vis de conduire sans conteste la tige jusqu'à l'extrémité de sa course, celle-ci doit finir par rencontrer le volant et arrêter le mécanisme. Ce système a été exécuté dans les ateliers de l'administration des lignes télégraphiques; mais l'expérience a démontré que pour pouvoir fonctionner convenablement il fallait : 1° que la tige d'embrayage fût maintenue appuyée sur la vis au moyen d'un ressort-boudin ; 2° qu'une bascule servît d'intermédiaire entre cette tige et le levier imprimeur.

Les systèmes de MM. Mazet, Beaunis, Latour-Dubreuil et Doumergue sont fondés sur le jeu d'une crémaillère qui, étant dégagée par l'action du levier imprimeur, peut, sous l'influence du mécanisme d'horlogerie, pousser un ressort jusqu'au complet arrêt de celui-ci, ou faire avancer un butoir jusqu'à l'axe de volant qu'il embraye après un certain temps de parcours de la crémaillère, lequel temps est limité par la vitesse de rotation du mobile avec lequel cette

crémaillère engrène. Ce dernier moyen se rapproche en principe de celui de M. Sortais.

Le système de M. Leclerc est basé sur l'emploi d'un petit soufflet, dont l'une des joues portant la détente est soulevée par le levier imprimeur, et qui ne peut retrouver sa première position que quand l'air aspiré a été complétement évacué, ce qui demande un certain temps si l'orifice d'écoulement est très-étroit. Ce système est plutôt théorique que pratique, car il faut toujours une assez grande force pour faire fonctionner un soufflet.

Le système de M. Renoir produit le déroulement du papier et l'arrête au moyen d'un courant d'une durée de cinq à huit secondes; de plus, son mécanisme avertit l'employé qui transmet que le papier se met en mouvement; et en outre, il permet d'appeler à volonté par une sonnerie un bureau correspondant quelconque entre plusieurs consécutifs. On comprendra sans peine qu'un système aussi complet soit très-compliqué; nous dirons seulement qu'il se compose d'une crémaillère qu'un électro-aimant fait rapprocher d'un mouvement d'horlogerie spécial; tant que le courant passe, cette crémaillère engrène avec une des roues de ce mouvement; si elle se dégage après un contact de cinq à huit secondes, en revenant à sa première position par l'action d'un ressort, elle fait tourner d'un cran une roue à rochet qui dégage ou arrête alternativement le mouvement d'horlogerie de l'appareil Morse. Si elle le dégage avant cinq ou après huit secondes, elle ne produit aucun effet.

Le système de M. Meyer a pour effet de produire le déroulement du papier, tout en permettant son arrêt à la volonté de l'employé expéditeur. A cet effet, l'arbre AB (fig. 75) de la dernière roue du mouvement d'horlogerie porte six pas de vis UU′ et un doigt d'arrêt Q′. Un second arbre QD, parallèle au premier, porte également un doigt Q et six pas de vis; il reçoit son mouvement d'un second

barillet à ressort d'une faible puissance, et qu'il suffirait de remonter une fois par jour. Cet arbre porte, en outre, une roue E en rapport de mouvement avec une petite roue à échappement *aa'*, placée entre les deux arbres.

PL est une tige non cylindrique mobile sur un pivot vertical O; les vis X et Y limitent son mouvement; à l'état de repos, un léger ressort la presse contre celle-ci, et l'extrémité L, s'engageant dans la roue *aa'*, arrête le mouvement

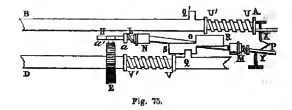


Fig. 75.

de QD. Deux écrous M et N, munis chacun d'une saillie destinée à engrener dans le pas de vis UU' et VV', sont fixés aux deux extrémités de la tige par des ressorts qui les ramènent sans cesse dans cette position si quelque force les a déplacés.

Une double palette RS, placée au-dessus de la tige LP, peut glisser horizontalement de R en S, sous l'action des écrous M ou N, et arrête, suivant sa position, le doigt Q ou le doigt Q'. Supposons d'abord qu'elle touche l'écrou Q; dans ce cas Q est libre et Q' est arrêté.

Quand le courant passe, le levier-style pousse en s'abaissant le bras P de Y en X, et L vers VV'; *aa'* est dégagé et QD tourne; quand le courant cesse, PL revient à sa première position et arrête de nouveau QD; l'écrou N s'est engagé un instant dans la vis VV', mais pas assez longtemps pour changer la position de RS; donc Q' est toujours arrêté et AB n'a pas pu bouger. Les signaux Morse étant tous trop brefs pour permettre un mouvement sensible à RS,

on pourra, si l'on veut, transmettre toute une dépêche sans faire dérouler la bande.

Mais si nous envoyons un courant prolongé et égal approximativement à quatre traits Morse, N s'engage dans la vis VV', avance de V' en V et repousse RS vers M; alors Q est arrêté, mais Q' devient libre; AB tourne et le papier se déroule avec régularité. Pendant le cours de la transmission, chaque courant pousse M dans la vis UU', mais tous ces contacts sont également trop peu durables pour déplacer sensiblement RS, d'autant plus que chaque interruption du courant dégage M du pas de vis, et cet écrou, sous l'effort constant du ressort, revient instantanément à sa première position.

Le papier se déroulera donc constamment jusqu'à ce qu'un second contact prolongé vienne conduire M et U' et repousser RS vers N.

MM. Dheu, Joly, Fulcrand, Brisson, Vasseur et Mairesse ont voulu résoudre le même problème, en faisant réagir sur la détente un système électro-magnétique capable de fournir deux actions différentes, soit sous l'influence de courants renversés succédant l'un à l'autre, soit sous l'influence de courants issus de piles différentes et dirigés de manière à se combattre ou à s'additionner, soit au moyen de courants qui se trouvent renforcés dans un cas et livrés à eux-mêmes dans l'autre. Tous ces systèmes n'ont réellement rien de bien sérieux, et sont bien loin de valoir le mécanisme si simple de M. Sortais[1].

Manipulateur mécanique des télégraphes Morse, de M. Ailhaud. — Le transmetteur de M. Ailhaud est fondé sur le même principe que celui de M. Régnard, que nous avons décrit, page 207 de notre dernier volume; seulement il est

1. Voir les deux articles de M. Lemoyne sur ces déclancheurs, insérés dans les *Annales télégraphiques*, tome II, pages 117 et 597.

combiné d'une manière plus pratique et dans des conditions infiniment plus avantageuses pour la sûreté des contacts. Il se compose essentiellement d'une série de bascules correspondant aux différents signaux de l'alphabet Morse, et pivotant sur un axe commun. Ces bascules se terminent, d'un côté, par un arc de cercle vertical, sur la partie inférieure duquel sont découpés les différents signaux, et qui est muni à sa partie supérieure d'une série de dents engrenant avec un long pignon horizontal occupant toute la longueur de l'appareil. De l'autre côté, ces mêmes bascules, que nous appellerons *bascules aux types*, appuient, au moyen de taquets à vis de réglage, sur une autre série de bascules constituant les touches d'un clavier analogue à celui des pianos. En face de la partie des arcs verticaux, découpée de façon à reproduire les signaux Morse, est adaptée une longue pièce horizontale rectangulaire occupant toute la longueur de l'appareil et pouvant osciller suivant son axe. Cette pièce porte d'abord vers le milieu un petit levier muni d'un ressort, qui, en oscillant avec elle entre deux butoirs d'arrêt, peut former interrupteur du courant et jouer, par conséquent, le rôle de la clef ordinaire; en second lieu, cette même pièce est munie, suivant sa longueur, de deux tringles horizontales placées dans le prolongement l'une de l'autre et pivotant séparément selon leur axe. Ces tringles, qui portent autant de dents en biseau qu'il y a de bascules à types, sont disposées de manière à pouvoir tourner d'un angle de quelques degrés quand on appuie de haut en bas sur les dents qu'elles portent, mais à rester fixes quand cette pression s'exerce en sens contraire. Enfin un mécanisme d'horlogerie, avec volant modérateur, est adapté au long pignon horizontal qui réagit, d'autre part, sur une bascule verticale portant inférieurement une tringle destinée à permettre l'abaissement simultané de deux touches, sans qu'il y ait trouble dans la transmission. Il va sans dire que de forts ressorts à

boudin dont on peut régler à volonté la tension, à l'aide de vis de réglage, soulèvent en temps ordinaire les différentes bascules à types. Voici maintenant comment cet appareil fonctionne.

Quand on abaisse une des touches du clavier, la bascule à types correspondante se trouve abaissée; les différentes saillies constituées par la découpure du caractère, en rencontrant la dent de la tringle mobile qui se trouve en face d'elles, font céder cette dernière, mais sans faire bouger la tige rectangulaire qui la porte; de sorte qu'aucun courant n'est envoyé par le levier interrupteur. Ce n'est que quand la bascule à types se relève sous l'effort du ressort antagoniste qui la sollicite, que la dent en question fait obstacle et provoque, à chaque saillie du caractère découpé qui se relève alors, une oscillation du levier interrupteur, lequel fournit une fermeture du circuit plus ou moins prolongée, suivant la largeur de la saillie. Comme le relèvement de cette bascule est tempéré par le mécanisme d'horlogerie auquel elle est reliée par le long pignon horizontal dont nous avons parlé, les contacts sont effectués d'une manière uniforme et indépendante de la manière plus ou moins brusque dont on abaisse la touche.

Il nous reste maintenant à parler du mécanisme destiné à régler la succession des transmissions pour que deux touches abaissées à la fois exercent leur effet en temps opportun. Ce mécanisme se compose, comme nous l'avons vu, d'une bascule verticale portant inférieurement une tringle sur laquelle viennent reposer les arcs des bascules à types. A sa partie supérieure cette bascule porte une cheville qui appuie sur la circonférence d'un disque muni d'une échancrure. En temps ordinaire, cette cheville est placée dans l'échancrure en question; par conséquent, la tringle portée par la bascule verticale ne peut faire obstacle à l'abaissement des arcs portant les types; mais quand l'une des touches est abaissée, le

pignon horizontal, en tournant sous l'influence des dents que portent les arcs, écarte la cheville de la bascule verticale, repousse celle-ci de côté et place la tringle au-dessous de tous ces arcs, sauf au-dessous de celui qui a été abaissé et qui a pu ainsi échapper; il en résulte que toutes les touches abaissées postérieurement à la première ne peuvent produire d'effet sur l'interrupteur qu'après le relèvement complet de cette première touche, car ce n'est qu'alors que le pignon horizontal, en tournant en sens contraire de sa première rotation, ayant replacé la cheville de la bascule verticale dans l'échancrure du disque dont il a été question, permet la transmission du caractère correspondant à la seconde touche abaissée.

Cet appareil a été habilement construit par MM. Viney et Gaussin.

Télégraphes à moteur électrique. — Depuis longtemps on a cherché à remplacer le mécanisme d'horlogerie des télégraphes Morse, qu'on est obligé si souvent de remonter, par un appareil électro-magnétique qui aurait, en outre, suivant les partisans de ce système, l'avantage d'entraîner la bande de papier aussitôt qu'on transmettrait la dépêche. Dès l'année 1857, M. Mouilleron avait construit un télégraphe basé sur ce principe, et en 1858, l'*Epoca*, de Naples, nous révélait, comme une nouvelle et magnifique invention d'un M. F. C***, de Palerme, la mise en mouvement du papier des télégraphes Morse par le moyen d'une armature oscillant devant les pôles d'un électro-aimant et réagissant par l'intermédiaire d'une bielle et d'une manivelle sur l'axe d'un volant. Il devait en résulter : 1° une durée beaucoup plus longue du mouvement du papier; 2° la faculté d'accélérer et de ralentir à volonté le glissement de la bande à l'aide d'un ressort modérateur appuyant sur le volant; 3° un mouvement beaucoup plus uniforme du papier. Plusieurs fonctionnaires de l'administration des lignes télégraphiques ont également, à

diverses époques, proposé des systèmes analogues. Enfin on voyait cette année, à l'exposition autrichienne à Londres, un télégraphe à électro-moteur employé, disait-on, sur quelques lignes autrichiennes, et sur lequel on a voulu attirer l'attention du jury de l'Exposition. Nous sommes, en vérité, étonné que des hommes sérieux aient pu émettre de pareilles idées avec les connaissances actuellement acquises sur les électro-moteurs. On sait, en effet, que, loin d'être plus uniformes dans leurs mouvements, ces appareils sont, au contraire, les plus capricieux de tous les moteurs, et d'ailleurs il n'est nullement nécessaire d'avoir une parfaite uniformité de mouvement dans le déroulement du papier des télégraphes Morse. D'un autre côté, pour éviter de remonter un ressort, on est conduit à employer un relais spécial et une pile de Bunsen, ou tout au moins un pile locale de Daniell très-puissante en quantité. Où est donc l'avantage?

Télégraphe à signaux fugitifs de M. Wheatstone. — M. Wheatstone, se fondant sur le principe de son photomètre à perles d'acier, a cherché à transformer à la vue le mouvement produit par l'armature d'un électro-aimant fonctionnant d'après le système Morse, pour faire apparaître pendant quelques instants des signaux entiers tous formés et facilement lisibles.

Pour obtenir ce résultat, M. Wheatstone place sur une plaque peinte en noir deux petites perles d'acier dont l'une est fixe et l'autre forme la terminaison d'une armature d'électro-aimant placée derrière la plaque. Sous l'influence du courant transmis, cette dernière perle danse sur la première à des intervalles plus ou moins espacés et pourrait fournir des traces dans le langage Morse, si elle pouvait laisser une empreinte sur une bande de papier. Mais comme ces traces n'existent pas, M. Wheatstone a cherché à les faire apparaître à la vue en profitant de la persistance des impressions lumineuses sur la rétine, et pour cela il place

devant ces perles un prisme de *flint* rectangulaire, dont la face hypoténuse est disposée de manière à produire la réflexion totale des deux perles dans une direction un peu excentrique par rapport à la perle fixe. Ce prisme, placé dans un disque noirci, qui lui-même est soutenu verticalement par trois galets à gorge, peut être mis en mouvement de rotation assez rapide par l'un de ces galets au moyen d'un engrenage à manivelle, et il en résulte que l'image des deux perles d'acier décrit deux cercles lumineux concentriques, dont l'un, le plus petit, reste toujours parfaitement régulier, mais dont l'autre dessine, par suite du mouvement de la perle de l'armature, des sinuosités qui représentent précisément les signaux transmis. Avec une énorme vitesse de transmission électrique, on pourrait lire de cette manière, les unes à la suite des autres, plusieurs lettres, comme on le voit sur la figure ci-dessous; mais par le fait

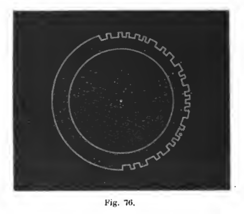


Fig. 76.

on ne peut jamais en distinguer plus d'une à la fois, et elles se succèdent dans la même partie du cercle.

Ce système est, il est vrai, plutôt théorique que pratique,

mais il n'en constitue pas moins une brillante invention qui pourra être utilisée dans d'autres applications.

Pour terminer avec les télégraphes écrivants, nous ajouterons que MM. Digney construisent actuellement des télégraphes Morse, établis d'après leur système, avec plusieurs dispositions différentes du système électro-magnétique. Tantôt ce système se compose d'un électro-aimant de M. Siemens, tantôt d'un électro-aimant à quatre bobines et à quatre armatures rayonnant autour d'un axe commun auquel est adapté le levier imprimeur; tantôt avec un électro-aimant à armature électro-aimant, comme nous l'avons indiqué page 207; tantôt avec des électro-aimants munis de deux hélices qu'on peut disposer de manière à constituer une seule et même hélice de grande résistance, ayant un nombre de spires double de celui de l'hélice simple, ou une hélice d'un nombre de spires moitié moins grand et d'une résistance quatre fois moindre, ou une double hélice dont les courants, marchant en sens contraire, laissent inerte l'électro-aimant. Cette disposition peut, comme on le sait, servir dans beaucoup de cas, notamment pour les transmissions simultanées à travers un même fil télégraphique.

Vitesse maximum de transmission des signaux avec les appareils Morse. — M. Guillemin a fait, à ce sujet, une série d'expériences très-importantes, desquelles il résulte que le nombre maximum des signaux élémentaires qu'on peut transmettre en une minute au moyen de l'appareil Morse (système Digney) est, par un temps favorable, environ 75 mots sur un circuit de 570 kilomètres; c'est une vitesse à peu près six fois plus grande que celle de la transmission ordinaire.

Pour constater cet intéressant résultat, M. Guillemin a fait usage d'un petit transmetteur automatique portant deux mots seulement: *France, Paris*, qui, dans l'alphabet Morse,

représentent la moyenne des mots français. Ce transmetteur était formé de quatre roues de laiton de 25 centimètres de circonférence portées sur un même axe; l'une de ces roues était destinée à produire les points, l'autre les traits; les deux dernières avaient pour but de *décharger le fil* après la production de chaque signal élémentaire. Les surfaces métalliques destinées à établir les contacts avaient la forme d'un trapèze à deux angles droits, dont le côté adjacent à ces angles était parallèle à l'axe de l'appareil. Quatre ressorts pressaient la surface de ces roues et établissaient des contacts dont la durée variait pour une même vitesse uniforme de rotation, suivant qu'on les poussait des parties larges vers les parties étroites des lames trapézoïdales. De cette manière on pouvait modifier à volonté le rapport existant entre la durée des contacts et le temps qui s'écoulait entre deux contacts successifs. Pour un même fil, ce rapport, qui donne la transmission la plus rapide, change suivant l'isolement de la ligne; on doit le diminuer quand l'isolement est bon, et l'augmenter quand la perte est grande. L'appareil permettant d'ailleurs de faire varier ce rapport à volonté, on peut toujours arriver à une grande vitesse de transmission.

Or, voici les résultats auxquels l'expérience sur une ligne de 570 kilomètres a conduit MM. Guillemin et Burnouf :

1° Par un beau temps et avec un bon isolement du fil, la transmission n'a pu fournir que 36 mots par minute [1], lorsque le fil *n'a pas été déchargé ;*

2° Lorsqu'au contraire le fil *a été continuellement déchargé* par le jeu des roues de décharge, le nombre des mots transmis a pu atteindre de 60 à 75;

1. D'après les recherches de M. Lemoyne, chaque mot, dans le système Morse, correspond à cinq points, et avec les télégraphes Digney, ces cinq points occupent en moyenne un espace de 10 millimètres sur la bande de papier.

3° Par la pluie ou avec un mauvais isolement, le fil perdant spontanément sa charge, il n'a pas été nécessaire de décharger la ligne, mais on a dû employer une pile plus énergique, et encore la transmission n'a été ni aussi sûre ni aussi rapide que dans le premier cas;

4° En employant pendant la décharge du fil un faible courant de sens contraire à celui qui effectue la transmission, le nombre de mots transmis par minute a pu atteindre à peu près 100 avec un bon isolement de la ligne, tandis que, dans les mêmes conditions et avec la décharge simple, ce nombre n'a été que de 75.

MM. Guillemin et Burnouf ont remarqué d'ailleurs qu'il n'était pas besoin de décharger la ligne après chaque contact, et que des décharges espacées pouvaient fournir des résultats aussi avantageux.

Ces résultats montrent combien il est essentiel que les appareils télégraphiques soient munis de déchargeurs, et combien il serait à désirer que les transmetteurs automatiques pussent être disposés de manière à permettre de varier à volonté le rapport de la durée des contacts aux intervalles de temps qui les séparent.

Télégraphes autographiques.

Depuis l'apparition du télégraphe de M. Caselli, aucun inventeur n'a cherché à entrer sérieusement en lice pour disputer au savant italien la palme de la supériorité pour les télégraphes autographiques. M. Backwell, le savant anglais qui a exécuté le premier appareil de ce genre[1], a, il est vrai, cherché à perfectionner son invention, et avait annoncé, l'année dernière, dans la *Gazette de Trieste*, la découverte d'un

1. Voir la description de ce premier télégraphe dans le *Traité général des applications de l'électricité*, par M. Glœsener, tome I, page 139.

nouvel appareil devant reproduire 400 lettres par minute; mais cet appareil n'a pas paru à l'exposition de Londres, et nous avons grand'peur que, conformément aux habitudes des inventeurs, M. Backwell ne se soit fait de grandes illusions. Quoi qu'il en soit, M. Caselli a su mettre le temps à profit pour perfectionner son œuvre, et nous allons voir qu'il y a réussi au delà de toute espérance.

Pantélégraphe de M. Caselli.—Le télégraphe autographique de M. Caselli a subi depuis la publication de notre dernier volume de nombreuses transformations, tant sous le rapport des dimensions et de la disposition des appareils, que sous celui des moyens employés pour l'impression des dépêches. Aujourd'hui, ce n'est plus un appareil de cabinet et seulement curieux, mais bien un instrument qui réunit toutes les conditions voulues pour être tout à fait pratique, comme l'ont démontré les expériences qui ont été faites pendant huit mois entre Paris et Amiens, et entre Paris et Lyon depuis le mois d'août dernier. Aussi M. Caselli, à la grande satisfaction de nos lecteurs, nous n'en doutons pas, s'est-il enfin décidé à satisfaire aux vœux du public en nous permettant la publication complète et détaillée de son système, et en nous donnant lui-même tous les renseignements nécessaires.

Aujourd'hui, l'appareil de M. Caselli se compose de deux instruments distincts : du télégraphe proprement dit, que nous représentons fig. 1 et 2, et qui renferme deux transmetteurs et deux récepteurs pouvant fonctionner alternativement, et en second lieu d'un *chronomètre régulateur,* destiné à régler d'une manière sûre et facile la marche synchronique des deux appareils placés aux deux stations en correspondance. Nous représentons cet appareil fig. 3 et 4. Une pile de ligne et une petite pile supplémentaire complètent, avec un rhéostat de la forme décrite dans notre dernier volume, page 236, et que nous repré-

sentons fig. 13 et 14, pl. II, le matériel de chaque station.

Avant que nous ne décrivions ces différents appareils, il est nécessaire d'indiquer comment M. Caselli fait réagir les courants pour produire les impressions, car c'est seulement alors que nous pourrons apprécier l'utilité des divers organes qui entrent dans ces appareils.

Le grand problème à résoudre dans les télégraphes autographiques, fondés sur les réactions chimiques, n'était pas seulement d'obtenir une marche parfaitement synchronique des appareils, mais aussi de dégager l'impression de la dépêche de toutes les influences perturbatrices qui se manifestent dans les lignes télégraphiques, et qui peuvent avoir pour résultat, soit d'empêcher certaines traces de se produire, soit d'altérer leur netteté en les étendant. Si l'on considère, en effet, qu'il faut un certain temps pour qu'une ligne un peu longue soit complétement chargée et qu'elle ne se décharge pas instantanément, on comprendra facilement qu'une fermeture de courant de trop peu de durée pourra ne pas produire d'impression, et d'un autre côté qu'une trace étant formée, au lieu de s'arrêter brusquement au moment de l'ouverture du circuit, pourra se prolonger en formant une bavure plus ou moins prononcée. C'est précisément pour cela que M. Caselli, comme nous l'avons déjà dit dans notre dernier volume, a cherché à obtenir des traces colorées se détachant sur un fond blanc. Mais comment obtenir ce résultat avec des courants interrompus précisément au moment où ces traces doivent être produites? Tel était le problème difficile à résoudre et dont la solution ne nous avait pas encore été communiquée. Nous avions bien, il est vrai, indiqué un moyen, mais avec ce moyen le télégraphe de M. Caselli, pas plus que les télégraphes à doubles transmissions simultanées, n'aurait pu devenir pratique. Heureusement M. Caselli a fait beaucoup mieux, comme on va pouvoir en juger, et de plus, avec son procédé, la ligne se trouve instan-

tanément déchargée, *précisément au point où cela est nécessaire.*

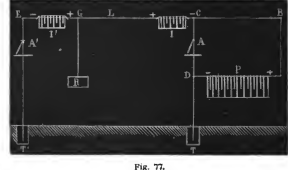


Fig. 77.

Supposons à la station qui transmet une pile de ligne P, et une petite pile supplémentaire I, disposées, par rapport au circuit de ligne L, comme on le voit dans la figure ci-dessus, c'est-à-dire d'une manière telle que la pile I' soit interposée sur la ligne L, et que les deux pôles de la pile P, tout en communiquant aussi avec cette ligne, fournissent en D une communication avec la terre. Admettons encore que le transmetteur télégraphique, placé en A et consistant dans une feuille d'argent écrite sur laquelle appuie une aiguille de platine, soit interposé sur le fil réunissant le pôle négatif de la pile P à la ligne. Enfin supposons qu'une pile I', exactement semblable à I, soit placée à la station qui reçoit dans une position symétrique par rapport à cette dernière.

Si les pôles de ces trois piles sont disposés comme l'indique la figure, les effets suivants se manifesteront infailliblement :

1° Quand l'aiguille de platine touchera l'encre de la feuille écrite, le courant de la pile P s'ajoutera au courant de la pile I pour traverser la ligne et réagir sur l'appareil télé-

graphique placé en A′, sur lequel il déterminera une trace bleue. Il est vrai qu'il rencontrera le courant de la pile I′ qui lui est opposé, mais ce dernier courant ne diminuera que faiblement l'action du premier, car la pile I′ est beaucoup plus faible que la pile P et à plus forte raison que P + I. Une trace colorée se trouvera donc ainsi produite sous l'influence d'une rupture de courant opérée par le transmetteur situé en A.

2° Quand l'aiguille de platine de ce transmetteur touchera la feuille d'argent, le courant de la pile P ne passera pas à travers la ligne, car le circuit DCBP ne présentant pas de résistance appréciable lui offrira une issue immédiate. Le courant de la pile I ne pourra pas non plus passer en L, car le courant de la pile I′ lui fait opposition, et même, en raison des dérivations par la ligne, ce dernier courant *sera prépondérant dans la partie du circuit occupée en A′ par le récepteur électro-chimique*. Mais ce courant prédominant, loin d'avoir des inconvénients, présente au contraire un avantage notable, et c'est même uniquement pour l'obtenir que les piles I et I′ ont été introduites dans le circuit. Étant, en effet, de sens inverse à celui de la pile P, ce courant peut détruire à travers le récepteur le courant de charge fourni par cette dernière, *sans pour cela décharger la ligne entre les deux appareils*, et il peut arrêter ainsi l'effet chimique prolongé dont nous avons parlé et qui empêche la netteté des traces électro-chimiques.

Il résulte de cette disposition que les dérivations du courant par la ligne, au lieu d'être défavorables à la marche de l'appareil, sont au contraire utiles, et même tellement utiles que par les temps très-secs on est obligé de les reproduire artificiellement en établissant en G une dérivation très-résistante R dans le voisinage du récepteur. C'est dans ce but, aussi bien que pour maintenir la ligne également résistante, que M. Caselli emploie les rhéostats dont nous avons parlé et qui peuvent

fournir des résistances de plusieurs milliers de kilomètres[1].

Cela étant posé, nous allons étudier maintenant la construction des appareils représentés fig. 1, 2, 3 et 4, pl. II.

Appareil télégraphique. — Cet appareil consiste essentiellement dans un pendule très-lourd (pesant 8 kilos) de 2 mètres de longueur, qui réagit alternativement au moyen de deux bras B, B′, sur deux systèmes basculants identiques M, M′, constituant l'un M le transmetteur, le second M′ le récepteur. Une sonnerie S sert d'avertisseur télégraphique pour les signaux nécessaires à la mise en action des appareils.

D'après cette disposition, on voit que c'est le pendule lui-même qui constitue le mécanisme moteur de ces sortes d'appareils, et c'est pour obtenir de sa part une force suffisante, aussi bien que pour le faire osciller dans un petit angle, condition nécessaire pour l'isochronisme de ses mouvements, qu'on lui a donné les dimensions et le poids considérables dont nous avons parlé. Maintenant, il est facile de comprendre que, pour que deux appareils télégraphiques de cette nature puissent marcher synchroniquement, il ne s'agit que de régler les oscillations des pendules de telle manière qu'elles se correspondent exactement. C'est à cet effet qu'ont été adaptés les électro-aimants E, E′, sur lesquels réagissent les chronomètres régulateurs, et qui, grâce à eux, mettent en action l'armature de fer A, constituant la boule des pendules eux-mêmes. Nous verrons plus tard le jeu de ces électro-aimants; quant à présent, nous dirons seulement que le pendule réagit sur deux commutateurs F, F′, au moyen d'une tige l articulée à frottement dur en *a*, et porte en C deux crochets destinés à arrêter le pendule aux deux extrémités de son oscillation, par l'intermédiaire de deux butoirs *c*, *c′*, portés par un levier U.

1. M. Caselli dans l'origine avait employé un autre moyen pour obtenir les résultats précédents; mais comme ce moyen peut être applicable dans d'autres circonstances, nous le décrirons dans nos Appendices.

Les mécanismes transmetteur et récepteur M, M', qui sont d'ailleurs exactement les mêmes, sauf la grandeur de l'arc d'oscillation des pièces basculantes, se composent d'un châssis MM (fig. 1 et 2), soutenu par une pièce de bronze KJ, laquelle est montée sur un axe d'oscillation GG, et se termine inférieurement par une tige L sur laquelle est articulé le bras B. Un contre-poids en plomb HH sert à équilibrer le poids de ce châssis, afin de favoriser son mouvement d'oscillation, et à le rappeler suivant la verticale. C'est sur ce châssis MM que sont adaptés les mécanismes destinés à faire marcher les pointes métalliques qui doivent transmettre ou imprimer la dépêche; et naturellement, en raison du mouvement circulaire dont celles-ci sont animées, les feuilles argentées ou recouvertes de cyanure de potassium, qui doivent transmettre ou recevoir la dépêche, se trouvent disposées en N, N, au-dessous de ces pointes, sur une surface cylindrique. Comme les impressions ne peuvent être faites régulièrement que pour un même sens de l'oscillation des pointes traçantes[1], M. Caselli a cherché à utiliser le sens contraire de ces oscillations pour une deuxième expédition, et c'est pourquoi les mécanismes sont doubles, comme on peut le remarquer sur la figure 1; il en résulte donc que le même transmetteur ou le même récepteur peut envoyer ou recevoir simultanément deux dépêches différentes.

Le mécanisme destiné à faire mouvoir la pointe métallique qui doit transmettre ou écrire se compose, pour chaque moitié du transmetteur et du récepteur, d'abord d'une vis sans fin *v*, sur laquelle se meut un écrou mobile *i*, guidé par une tige rectangulaire *nn*, au moyen d'un curseur adapté à cette tige. Ce curseur, comme l'indiquent les figures 9 et 10, est muni d'une rainure verticale dans laquelle s'engage une

1. Voir l'explication de la nécessité de cette disposition dans notre dernier volume, page 236.

petite tige fixée sur un second curseur *j*, qui porte la pointe métallique et qui est mobile lui-même sur une seconde tige rectangulaire *r*. Cette seconde tige, par exemple, au lieu d'être fixe comme la première, est susceptible de tourner suivant son axe, et il résulte de cette disposition qu'un mouvement d'oscillation peut être communiqué régulièrement à cette tige, sans entraver la marche du curseur *j* dans le sens longitudinal. Par conséquent, si un mouvement saccadé de rotation est communiqué à la vis *v* à chaque mouvement d'oscillation du système basculant MM, la pointe portée par le curseur *j* pourra avancer d'une certaine quantité à chaque oscillation du pendule, et de plus, si une impulsion est communiquée à la tige *r* pour un certain sens de l'oscillation du même système, elle pourra rester appuyée sur la surface cylindrique NN pendant une demi-oscillation de ce système et être relevée pendant l'autre demi-oscillation.

Le mécanisme destiné à fournir cette double impulsion, que l'on distingue en *oft* (fig. 1) vu de champ, est représenté vu de face fig. 7 et 8 ; il consiste dans une roue à rochet de dix dents *o*, montée sur l'axe même de la double vis sans fin *vv*, et sur laquelle réagit une fourchette d'encliquetage *f*. La tige de cette fourchette, venant à rencontrer deux butoirs fixes *dd* à chaque oscillation du système basculant ML, est mise elle-même en mouvement d'oscillation, et provoque la rotation du rochet *o*, en même temps que celle de la vis *vv*. Le jeu de cette fourchette est d'ailleurs assuré au moyen d'un galet porté par un ressort qui appuie soit d'un côté soit de l'autre d'une came angulaire adaptée à la tige de la fourchette *f* et qu'on aperçoit en *t* (fig. 1 et 8). Les boutons *ll* (fig. 8), que l'on remarque fixés à la partie supérieure de la tige de la fourchette *f*, sont destinés à faire appuyer en temps convenable les pointes métalliques sur les feuilles de papier. A cet effet, ils réagissent sur un levier *u* adapté aux tiges *rr* dont nous avons parlé, et qui se termine par

une tige-butoir x, sollicitée en sens contraire de l'action des butoirs dd par un ressort antagoniste en caoutchouc. C'est ce levier u qui communique à la tige rr, à chaque action des butoirs d sur la fourchette f, le mouvement de bascule destiné à relever la pointe métallique ; et c'est le ressort de caoutchouc adapté au levier x qui abaisse cette pointe. Comme ce levier x bute contre le châssis du système oscillant, le mouvement de la pointe en question se trouve limité et rendu indépendant des petites variations que pourrait entraîner sans cela le jeu de la roue o.

Dans la description qui précède, nous n'avons considéré qu'un seul système oscillant ; or, nous avons vu que ce système était double, soit pour la réception, soit pour la transmission ; mais l'inspection de la figure 1 fait comprendre facilement que ce que nous avons dit pour l'un peut s'appliquer à l'autre. Nous ferons seulement observer que, comme ces mécanismes doivent fonctionner sous deux effets mécaniques contraires, les dispositions sont toutes renversées : ainsi la vis v, pour le mécanisme de droite, a son filet en sens opposé de la même vis dans le mécanisme de gauche ; la pointe métallique est pour celui-ci en avant, tandis qu'elle est en arrière pour celui-là ; enfin les curseurs vont de droite à gauche pour l'un, et de gauche à droite pour l'autre.

Si l'on a bien saisi cette description, on comprend facilement le jeu de l'appareil : quand le pendule marche vers la gauche (fig. 1 et 2), le système oscillant ML incline vers la droite ; la pointe métallique de la partie gauche du transmetteur appuie sur la feuille argentée placée sur la surface cylindrique NN, alors que la pointe métallique de la partie droite est soulevée ; au moment où le pendule a atteint son écart extrême, le butoir d repousse la tige de la fourchette f, fait avancer la vis vv d'une certaine quantité, et soulève la pointe métallique du transmetteur de gauche en

même temps qu'elle fait abaisser la pointe du transmetteur de droite. Il en résulte donc une série de frottements des pointes métalliques qui, si elles pouvaient laisser des empreintes continues, fourniraient une série de lignes éloignées d'une fraction de millimètre les unes des autres et couvrant une feuille de papier sur une largeur de 10 centimètres et sur une hauteur de 12 centimètres. On comprend donc que si, dans cet espace, la feuille argentée du transmetteur est couverte par une dépêche écrite, il résultera du passage successif de la pointe de platine à travers cette écriture une série d'interruptions de courant qui, en raison de la disposition que nous avons décrite précédemment et du mouvement parfaitement synchronique des appareils aux deux stations, seront reproduites électro-chimiquement à la station qui reçoit, par une succession de petites lignes fines et serrées, placées dans le même ordre et dans des positions respectives identiques; ce qui constituera le fac-simile de la dépêche écrite, comme on le voit fig. 15.

Nous avons dit que l'arc d'oscillation du système basculant M′ L′ (fig. 2) appliqué à la réception était de moindre étendue que celui du système basculant ML appliqué à la transmission. Cette réduction a été combinée au double point de vue de l'augmentation de la rapidité de la transmission et de l'accroissement de l'effet électrique déterminé. Voici comment : si on admet que, pour rendre l'écriture suffisamment lisible, il faille que les lignes tracées par les pointes de fer soient écartées l'une de l'autre de 3/10 de millimètre, on comprendra aisément que si, par un moyen quelconque, on parvient à rapprocher ces lignes sur le récepteur, on pourra en diminuer le nombre, et partant on gagnera du temps pour l'expédition de la dépêche. Or, ce résultat est fourni par la disposition que nous avons indiquée. En effet, si on maintient sur le récepteur l'écart de ces lignes à 3/10 de millimètre, ce que l'on obtiendra, je suppose,

avec un rochet *o* de 12 dents (fig. 1 et 8), on pourra, en adaptant au mécanisme du transmetteur un rochet de 10 dents, obtenir sur celui-ci un plus grand espacement des lignes, et, par conséquent, il en faudra un moins grand nombre pour couvrir la surface occupée par l'écriture. Il est vrai que l'écriture à la station de réception sera un peu raccourcie, mais comme ce raccourcissement a lieu dans deux sens, en raison de la moindre étendue du rayon d'oscillation de la pointe traçante, elle ne sera pas déformée et pourra être très-lisible; ce qui n'aurait pas eu lieu si les lignes avaient été aussi espacées que sur le transmetteur. Maintenant, comme l'action du courant, qui ne change pas à la transmission, s'effectue à la réception sur un plus petit espace, elle devient plus énergique et peut fournir un même effet électro-chimique avec une source électrique moins intense.

La figure 11 montre comment les pointes métalliques qui doivent fournir la transmission ou l'impression de la dépêche sont disposées sur le curseur de la tige *rr*; c'est tout simplement un fil très-fin de fer ou de platine qui passe à travers un bec métallique et qui se trouve en provision de manière à être poussé au fur et à mesure de son usure; ce bec est monté sur une lame de ressort *r* et se trouve soutenu par une palette *m*; la grosseur de ce fil métallique n'est pas indifférente, comme on pourrait le croire : il est absolument nécessaire qu'il soit très-fin si on veut avoir des épreuves nettes et sans bavures.

D'un autre côté, la fig. 12 montre la disposition des pièces NN sur lesquelles doivent être placées les feuilles destinées à la réception et à la transmission de la dépêche : ce sont des portions de cylindres métalliques qui peuvent s'emboîter par leur partie inférieure entre de petits rails de fonte convenablement adaptés sur la table XX (fig. 1 et 2) et qu'il suffit de faire glisser sous le châssis MM. Ces pièces doivent être

en certain nombre, afin qu'on puisse préparer d'avance les dépêches et opérer promptement les substitutions. Ceux de ces espèces de tambours qui sont destinés à la transmission sont recouverts en drap et portent deux lames de ressort qui servent à maintenir la feuille de papier argenté sur laquelle la dépêche est écrite : ils sont, bien entendu, plus grands que ceux destinés à la réception. Ceux-ci sont en étain et n'offrent d'ailleurs rien de particulier.

La figure 2 montre comment les bras B sont articulés aux pièces basculantes ML ; l'un de ces bras est même détaché, parce que l'appareil est censé en transmission et qu'il est inutile de donner une double besogne au pendule.

Pour terminer avec l'appareil télégraphique, il ne nous reste plus qu'à nous occuper de la sonnerie représentée vue de profil en S, fig. 2, et vue de face, fig. 6. C'est un simple marteau adapté à une armature électro-aimant de Cecchi, qui peut fournir des coups distincts sur un timbre et qui fonctionne, bien entendu, sous l'influence de courants renversés. Cette sonnerie porte un petit bouton transmetteur *z* qui est relié avec les commutateurs F, F′, de telle manière que la sonnerie ne peut fonctionner que quand la pièce *m* de ces commutateurs est mise en contact avec la pièce *n*. Cette disposition a été établie pour que les courants destinés aux avertissements ne troublent pas ceux destinés à l'impression des dépêches, et en même temps pour que la sonnerie ne puisse pas fonctionner sous l'influence des courants de charge, comme cela est arrivé souvent à M. Caselli, avec les sonneries ordinaires. Le nombre des signaux nécessaires pour faire fonctionner les appareils étant très-restreint et se bornant à une vingtaine environ, M. Caselli a combiné un petit vocabulaire qu'il est très-facile d'interpréter, et qu'on peut facilement retenir. Maintenant voici comment on fait usage de cette sonnerie : supposons qu'à l'une des stations on veuille demander l'arrêt de la machine et que cette demande

soit représentée par trois coups sur le timbre; on appuiera le doigt sur le transmetteur *z* et, au bout de trois oscillations du pendule, les trois coups seront envoyés à la station correspondante, ce dont on sera prévenu, car les deux sonneries, étant interposées dans le même circuit, sonneront en même temps. On n'aura donc qu'à retirer le doigt après le troisième coup.

Chronomètre régulateur. — Dans son premier appareil, M. Caselli avait rendu le mécanisme destiné à régler le synchronisme solidaire de son télégraphe. Mais l'expérience n'a pas tardé à lui démontrer qu'il valait beaucoup mieux le rendre indépendant et le placer dans les conditions ordinaires de la chronométrie. Les appareils qu'il emploie aujourd'hui ne sont donc autre chose que de simples mécanismes d'horlogerie réglés par des pendules dont on peut modifier la vitesse au moyen du dispositif que nous avons représenté (fig. 3 et 4), et qui est aussi remarquable par sa simplicité que par le double rôle qu'il a à remplir. Ce dispositif, qui doit servir d'interrupteur de courant, consiste dans un levier *a* articulé en *c* sur lequel appuie un ressort *r*, que peut presser plus ou moins une vis de rappel micrométrique *v*. Une vis *e*, qui peut être rencontrée à chaque oscillation du pendule par un butoir *b*, peut être placée à distance convenable pour rendre les mouvements du pendule plus ou moins libres; mais par suite de l'effort exercé par le ressort *r*, les deux arcs parcourus par le pendule à gauche et à droite de la verticale ne sont plus égaux, et il en résulte une variation dans la durée de l'oscillation totale. En serrant ou en desserrant la vis *v* à l'une ou à l'autre des stations, on peut donc parvenir à mettre les pendules en accord de mouvement, et ce moyen de réglage est si sensible qu'on peut régulariser leur marche à un millième de seconde près. Ce résultat si avantageux a engagé M. Caselli à appliquer ce système au réglage des horloges de précision. Voici maintenant comment le réglage des

deux appareils peut être fait, et comment il peut établir en même temps le synchronisme du mouvement des pendules télégraphiques.

Le courant de la pile de ligne que nous représentons en A (fig. 3) doit passer par la pièce *d* et la pièce *a* du chronomètre avant d'arriver aux électro-aimants EE′ qu'il doit animer. Encore faut-il qu'il passe par l'un ou l'autre des commutateurs F′F (fig. 2) et que la pièce mobile *m* ait mis en contact le ressort *o* (fig. 2) avec le butoir *y* qui est en rapport, par le fil 3, avec *a* (fig. 3). Ce dernier effet est obtenu lorsque le pendule est près d'avoir atteint son écart extrême, soit à droite, soit à gauche, car alors la pièce articulée à frottement dur l (fig. 2) vient pousser d'un côté ou de l'autre la pièce *m*. Dans ce cas, si le pendule du chronomètre régulateur ne réagit pas sur les pièces *d* et *a* (fig. 3), le courant est fermé, dans l'un ou l'autre des électro-aimants E et E′, et le pendule du télégraphe se trouve maintenu écarté jusqu'à ce que celui du chronomètre régulateur, ayant accompli sa double oscillation, soit venu couper le courant, en soulevant la pièce *a*; alors le pendule du télégraphe devient libre et peut accomplir son oscillation contraire jusqu'à ce qu'ayant rencontré l'autre électro-aimant il se trouve de nouveau retenu écarté. Mais alors le pendule du chronomètre régulateur, en rompant de nouveau le courant, le rend libre à son tour, et les choses se renouvellent ainsi indéfiniment.

On voit que, par cette disposition, le mouvement du pendule télégraphique, à chaque station, est forcément solidaire de celui du pendule du chronomètre régulateur correspondant, et comme les deux chronomètres régulateurs peuvent avoir leur marche synchronique parfaitement réglée, ainsi qu'on l'a vu précédemment, le problème se trouve ainsi résolu. Dans la pratique pourtant, plusieurs conditions doivent être remplies. Ainsi, il est essentiel que la fermeture du courant à travers les électro-aimants précède l'arrivée du pendule à

ses écarts extrêmes, attendu que le même écart ne pourrait être atteint pendant longtemps si l'attraction des électro-aimants ne venait pas restituer continuellement de la force au pendule. C'est à cet effet que M. Caselli a fait opérer la fermeture du circuit sur les commutateurs F et F', au moyen d'une pièce articulée à frottement dur. D'un autre côté, il est nécessaire que l'arrêt du pendule télégraphique, à ses écarts extrêmes, dure un certain temps, d'abord afin que la quantité de mouvement dont il est animé soit complétement perdue avant qu'il reprenne son oscillation inverse ; en second lieu, pour que son départ s'opère toujours dans les mêmes conditions, et enfin pour qu'on puisse prendre sur ces temps de repos l'accélération ou le retard de la marche de l'appareil.

Pour obtenir ce temps d'arrêt des pendules télégraphiques il semblerait, à première vue, que le mouvement des pendules chronométriques devrait être plus lent que celui des pendules télégraphiques ; mais il n'en est pas ainsi, car la force attractive des électro-aimants EE' accélère considérablement, aux extrémités de leur course, la marche de ces derniers pendules, et il faut au contraire que ceux-ci marchent un peu moins rapidement que les pendules chronométriques.

La bonne réussite des épreuves électro-chimiques dépendant de la stabilité des effets électriques, et ces effets étant différents par suite des variations de la vitesse du pendule pendant son oscillation, M. Caselli avait, dans l'origine, cherché à uniformiser, au moyen d'un système de leviers combinés, sinon le mouvement du pendule, du moins celui des pièces conduites par lui et destinées à la transmission. Mais en y réfléchissant plus sérieusement, M. Caselli n'a pas tardé à s'apercevoir que cette plus grande vitesse du pendule au milieu de son oscillation, loin d'avoir des inconvénients, pouvait avoir, au contraire, des avantages en diminuant le temps des fermetures du circuit de ligne au milieu

de chaque trajet des pointes métalliques. A cette époque de la transmission, en effet, la ligne se trouve plus chargée qu'au commencement, et, si les actions électriques avaient toujours la même durée, elles seraient plus fortes au milieu de la dépêche qu'aux extrémités et, par suite, le fac-simile produit n'aurait pas une teinte uniforme; mais par suite du mouvement plus accéléré des pointes traçantes en ces moments, cet inconvénient disparaît et l'uniformité de l'action électrique se trouve ainsi obtenue sans aucun frais.

Comme c'est la pile de ligne qui anime les électro-aimants EE', ainsi qu'on l'a vu précédemment, il en résulte que son action sur la ligne, pour la transmission des dépêches, ne peut se manifester pendant le temps entier de l'oscillation du pendule télégraphique. Par conséquent, le travail utile des pointes métalliques ne s'effectue que sur un arc plus petit que celui qu'elles accomplissent réellement; c'est pourquoi la largeur de la dépêche, au lieu d'avoir 10 centimètres, ainsi que nous l'avons dit précédemment, ne peut avoir, par le fait, que 8 centimètres 1/2 ; mais cette circonstance n'a rien de défavorable, car elle permet le réglage du synchronisme, comme on le verra à l'instant.

Il nous reste maintenant à examiner comment on peut établir le synchronisme de marche des appareils à des stations éloignées l'une de l'autre. Pour y parvenir, la feuille de papier argenté sur laquelle la dépêche doit être écrite est pourvue de trois raies *ad, be, cf* (fig. 78), tracées à l'encre, comme on le voit ci-contre. La première raie *ad* sert de ligne de repère pour placer la pointe de platine du transmetteur, mais les raies *be* et *cf* limitent complétement le champ de la dépêche, c'est-à-dire que tout ce qui serait écrit en dehors de la surface *bc fe* ne pourrait être reproduit à la station qui reçoit. On place cette feuille sur le récepteur et, après les avertissements convenables, on met les appareils en train aux deux stations; ce que l'on fait en déclanchant les pen-

dules télégraphiques qui, en temps de repos, doivent toujours être en contact avec l'un ou l'autre des électro-aimants E,E'. Comme les raies *bc*, *ef* représentent les limites extrêmes du

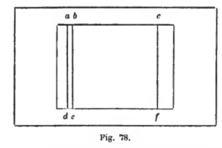


Fig. 78.

champ électro-chimique, il devra nécessairement arriver, si les appareils ont un mouvement synchronique parfait, que ces lignes ne seront pas reproduites à la station qui reçoit; mais, par contre, s'il y a discordance dans la marche de ces appareils, l'une ou l'autre devra apparaître et, suivant que ce sera celle de gauche ou celle de droite qui se montrera, on se trouvera averti si on doit retarder ou accélérer la marche du pendule chronométrique de la station de réception.

Comme il est important, pour ne pas perdre trop de temps au réglage des appareils, que les pendules télégraphiques soient mis en mouvement ou arrêtés en temps opportun, M. Caselli a adapté au levier renclancheur U (fig. 2) un interrupteur P et dispose ce levier de manière à produire deux effets différents, suivant qu'il est plus ou moins abaissé. S'il est peu abaissé, le pendule se trouve suffisamment accroché pour rester à la limite extrême de sa course. Mais le circuit ne se trouvant pas coupé, les électro-aimants EE' continuent à s'animer à chaque fermeture du courant opérée sur le chronomètre régulateur, et il en résulte une série de petits battements qui peuvent avertir du moment où le pendule du chronomètre abandonne le levier *a* (fig. 3). C'est bien en-

tendu au moment des attractions qu'il faut déclancher le pendule télégraphique quand on veut transmettre une dépêche. Quand maintenant le levier U (fig. 2) est complétement abaissé, il produit en P une interruption définitive du courant et l'appareil est désormais complétement inactif. C'est ce qui doit arriver quand on ne transmet pas.

Avec la disposition actuelle du système télégraphique de M. Caselli, le sens de l'oscillation des pendules, par rapport aux dépêches transmises, est indifférent; car l'écriture se trouvera toujours reproduite soit sur l'un soit sur l'autre des cylindres des deux récepteurs.

Disposition générale des appareils. — Les figures 2 et 5 représentent deux stations en correspondance télégraphique; les fils de communication sont indiqués par des lignes pointillées, et c'est l'appareil de la figure 2 qui transmet. A cet effet, la manette Q d'un commutateur fixé sur l'appareil télégraphique établit la communication entre la ligne et le système basculant ML, qui est isolé du bâti en fonte de l'appareil. Or, nous allons voir maintenant ce qui arrive quand l'appareil est mis en marche, et, pour commencer, nous supposerons que la pointe métallique R soit sur une partie encrée de la feuille d'argent.

En ce moment, et avec la disposition du pendule sur la figure, le courant de la pile A (fig. 3) passe à travers la ligne en se réunissant à celui de la pile B, car il passe du pôle + au bouton d'attache n° 2 du chronomètre régulateur; de ce bouton au câble conduisant à l'appareil télégraphique, il arrive à la manette Q (fig. 2) par la plaque sur laquelle celle-ci appuie; de cette manette au contact p, puis à la pièce articulée m, au contact p', à la pièce m', et il rentre de là dans la ligne L, passe à travers les piles B et B' (fig. 3 et 4), et arrive à l'appareil de réception, traverse le bouton L du chronomètre régulateur (fig. 4), le câble allant de cet appareil au télégraphe (fig. 5), la pièce m'', le contact p'', la pièce m''',

le contact p''', et enfin le système basculant M''L''. Là il produit l'impression sur le papier chimique, puis traverse ce papier, passe par le métal du bâti de fonte de l'appareil qui est en contact métallique avec le tambour du papier chimique, rentre dans le câble de l'appareil télégraphique par le fil T, et va en terre par le bouton T du chronomètre régulateur de cette station. Il revient alors au bouton T du chronomètre régulateur de l'appareil transmetteur (fig. 3), retourne par le câble de cet appareil à la sonnerie sans la faire fonctionner, puisque c'est le pendule qui a ce pouvoir, et de là au fil n° 1, qui correspond au pôle négatif de la pile A par l'intermédiaire du bouton 1 du chronomètre régulateur.

Supposons maintenant que la pointe métallique R du transmetteur (fig. 2) soit sur la partie métallique de la feuille argentée. Le courant de la pile A ira au bouton 2 du chronomètre régulateur de l'appareil, à la plaque de l'interrupteur Q, et de là dans le système oscillant du transmetteur, traversera le papier argenté, le métal du bâti de l'appareil, rentrera dans le câble par le fil 1 et regagnera la pile A par le bouton 1 du chronomètre régulateur : aucun courant ne passera donc dans la ligne, et les piles B et B' produiront l'effet que nous avons analysé page 337.

Admettons actuellement que le pendule de l'appareil télégraphique qui transmet soit à l'extrémité de son oscillation de gauche. En ce moment, la pièce m sera en contact avec n et o, communiquera avec y. Le courant de la pile A ira du bouton 2 du chronomètre régulateur à la pièce d de ce même appareil, puis à la pièce a, de là au fil n° 3, reviendra par le câble en y, puis en o, puis dans l'électro-aimant E, et retournera à la pile par le bâti de l'appareil, le fil de la sonnerie correspondant à T, le fil 1 du câble et le bouton 1 du chronomètre. En même temps, le circuit de ligne sera coupé par la disjonction de la pièce m et du contact p. L'électro-aimant E sera donc actif jusqu'à ce que le contact du levier a

avec *d* (fig. 3) soit détruit par l'action du pendule de ce chronomètre sur le levier *a*. Il en serait de même pour l'oscillation de droite du pendule télégraphique, car le fil 3 se bifurque entre les deux commutateurs F,F′.

Enfin, admettons qu'on appuie le doigt sur le bouton transmetteur de la sonnerie à la station (fig. 5) et que le pendule télégraphique soit comme précédemment à l'extrémité de son oscillation de gauche; le courant arrivera à l'appareil par le fil L, ira de là à la pièce *m′*, puis au contact *p′*, à la pièce *m*, au contact *n*, puis au contact *n′*, au commutateur de la sonnerie, à l'électro-aimant de cette sonnerie, puis au fil de terre T. Un coup sera donc frappé sur le timbre et ce coup se renouvellera à chaque oscillation double du pendule A, si l'on maintient le doigt appuyé sur le bouton transmetteur de la sonnerie de l'autre station; mais le courant sera renversé à chaque coup à travers celle-ci, par la bascule de son commutateur.

Comme c'est le courant de la pile de ligne qui doit animer les électro-aimants E, E′, ceux-ci ont dû être recouverts d'un fil fin de grande longueur.

Préparation et disposition des feuilles destinées à la transmission et à la réception des dépêches autographiées. — La préparation électro-chimique du papier destiné à recevoir l'impression des dépêches a occupé longtemps M. Caselli. Après bien des essais, il en est revenu cependant à la préparation au cyanure de potassium, mais dans des conditions particulières, sans lesquelles il est impossible d'obtenir de bons résultats. Il faut, en effet, que les feuilles de papier restent trempées douze heures au moins dans la solution cyanurée, et qu'avant leur emploi elles soient parfaitement essuyées : il faut même qu'elles soient assez desséchées superficiellement pour qu'en les pressant contre du papier buvard elles ne puissent lui communiquer aucune humidité. Le peu de réussite des essais d'impressions électro-chimiques qui ont été faits a tenu souvent à ce défaut de soin,

et cela se comprend aisément, puisque le papier humide superficiellement permet à la matière colorée qui se forme sous l'influence du courant de se délayer et de s'étendre, au préjudice, bien entendu, de la netteté des traces fournies. Pour conserver à ces feuilles le degré d'humidité qui leur convient, M. Caselli en superpose un certain nombre et ajoute à la solution cyanurée de l'azotate d'ammoniaque. Cette substance, d'après ce savant, jouerait en même temps un rôle utile dans l'action chimique. Le choix du papier lui-même n'est pas indifférent. Celui qui produit les meilleurs résultats est le papier anglais de première qualité travaillé à la forme. Il faut, bien entendu, qu'il soit fait avec du chiffon de lin et qu'il soit très-collé. Un pareil papier peut rester presque indéfiniment dans l'eau sans devenir plucheux.

Les feuilles métallisées propres à transmettre les dépêches doivent, avec le système de M. Caselli, être préparées d'une manière particulière; une feuille de papier d'étain, par exemple, ne pourrait convenir; il faut des feuilles de papier blanc parfaitement argentées à la presse et présentant de larges marges découvertes. L'encre, d'ailleurs, n'a pas besoin d'être parfaitement isolante; il faut même qu'elle ne le soit pas trop pour maintenir la ligne toujours un peu chargée. Quant aux feuilles elles-mêmes, elles doivent porter, ainsi que nous l'avons déjà dit, trois raies faites à l'encre, et en outre, dans quelques cas particuliers assez rares, une série de raies parallèles très-fines tracées à la gomme laque, perpendiculairement au sens que doit avoir l'écriture. Ces dernières raies peuvent jouer un rôle important dans les transmissions sur de très-longues lignes télégraphiques, et voici à quelle occasion M. Caselli s'est trouvé conduit à imaginer ce moyen. Ce savant avait remarqué que, sur les dépêches transmises à travers des lignes très-longues, la partie supérieure des lettres dépassant le corps de l'écriture ne se reproduisait pas toujours très-bien, alors que le corps de l'écriture

était irréprochable. Après avoir étudié avec soin la cause de cette anomalie, il ne tarda pas à reconnaître qu'elle devait être attribuée aux effets de charge de la ligne. On comprend, en effet, que si une émission de courant à travers une ligne un peu longue est faite pendant un temps très-court, la ligne a le temps à peine de se charger, et il peut arriver que l'intensité électrique ne soit pas assez forte pour produire l'action chimique voulue. Mais si plusieurs émissions de courant se succèdent à des intervalles de temps très-rapprochés, la ligne n'a plus le temps de se décharger et la charge primitive produite par une première émission de courant sert à renforcer l'action de celui-ci lors d'une deuxième émission. Or, ces effets doivent nécessairement se produire dans la transmission d'une dépêche écrite, car les traits qui dépassent le corps de l'écriture ne fournissent que des émissions de courant de très-faible durée, qui ne se renouvellent pas à des intervalles rapprochés, tandis que le contraire a lieu pour le corps de l'écriture. C'est pour placer ces traits dépassant l'écriture dans des conditions analogues à celles du corps même de l'écriture que M. Caselli s'est trouvé conduit à faire tracer les lignes à la gomme laque, dont nous avons parlé, et qui peuvent d'ailleurs être écartées de 6 ou 8 millimètres. Il est vrai que ces lignes se trouvent reproduites sur le papier électro-chimique ; mais elles sont très-peu apparentes et la dépêche n'en est pas moins lisible.

Avantages du système télégraphique de M. Caselli. — Tout le monde sait que M. Caselli a obtenu avec son télégraphe des épreuves admirables de netteté, et qu'il est même parvenu à reproduire des dessins faits à la plume avec un aspect plus attrayant que les originaux, en raison du moelleux des traits électro-chimiques qui ont un peu l'apparence des traits de la gravure à la molette. La vitesse de transmission de ce système est d'ailleurs relativement grande, puisque les expé-

riences faites entre Paris et Lyon ont donné une moyenne de quinze mots par minute (soit soixante-quinze lettres par minute). Ainsi, avec des appareils bien servis et en n'admettant aucune perte de temps, on pourrait transmettre quarante dépêches de vingt mots par heure. C'est déjà, comme on le voit, un très-beau résultat; mais l'avantage le plus grand de ce télégraphe sous le rapport de la rapidité de la transmission, c'est qu'il peut se prêter aux dépêches sténographiées, et tout le monde sait avec quelle prodigieuse rapidité on peut écrire avec cette méthode, puisque certains signes suffisent pour exprimer des phrases. Il est donc présumable qu'avec ce système le télégraphe autographique pourra dépasser de beaucoup en vitesse tous les systèmes connus. Mais ces avantages ne sont pas les seuls. Par suite de sa disposition les mélanges accidentels qui se manifestent sur les lignes, et qui sont si désastreux pour les transmissions télégraphiques ordinaires, sont à peu près insignifiants. Il ne peut, en effet, en résulter que la superposition de quelques traits étrangers à la dépêche ou l'affaiblissement de quelques parties des lignes qui la composent; ce qui n'empêche pas la dépêche d'être toujours lisible et un dessin d'être fidèlement reproduit. Un fait de ce genre s'est produit lors des expériences entre Amiens et Paris, et alors qu'on transmettait un portrait de S. M. l'Impératrice. Le mélange s'était produit avec une ligne sur laquelle on expédiait une dépêche en langage Morse. Le portrait a pu être néanmoins reproduit fidèlement; mais on distinguait dans certaines parties plusieurs signaux Morse qui résultaient du mélange. Les nouvelles expériences entre Paris et Lyon ont fourni des résultats encore plus beaux. Ainsi les appareils de M. Caselli ont pu fonctionner sans trouble sur une ligne sillonnée par des courants atmosphériques très-intenses, et alors que les appareils Morse ne pouvaient pas fonctionner du tout. Il est impossible que devant de pareils

faits le système de M. Caselli ne soit pas adopté avec empressement.

Typo-télégraphe de MM. Bonelli. — Le télégraphe autographique de M. Bonelli, dont nous avons parlé dans notre dernier volume, et dont nous avions critiqué pour plus d'une raison la disposition, a été, dans ces derniers temps, tellement transformé qu'il est aujourd'hui dans des conditions assez convenables pour être appliqué, du moins dans quelques cas particuliers.

Cette fois, au lieu de chercher à reproduire l'écriture, M. Bonelli n'a eu en vue que d'obtenir la reproduction de types typographiques assemblés dans un composteur et composant eux-mêmes la dépêche. Or, cette disposition, tout en lui fournissant un excellent système de transmetteur, lui permettait en outre de réduire le nombre de fils destinés à la transmission, car la dépêche occupe toujours de cette manière sur le transmetteur une même position et une même largeur. Aussi, au lieu de 50 fils que M. Bonelli proposait dans l'origine pour la construction de sa ligne, n'en emploie-t-il aujourd'hui que 11, et encore croit-il que ces 11 fils pourront être réduits à 7. D'un autre côté, ayant reconnu que l'induction des fils les uns sur les autres ne pourrait jamais être détruite en les réunissant en câble, il a renoncé à cette idée, et compose actuellement sa ligne avec des fils aériens ordinaires. Enfin, ayant pensé qu'avec des pointes métalliques en fer, le peigne du récepteur s'userait inégalement et serait mis en peu de temps hors de service, il a recherché les moyens d'obtenir des marques électro-chimiques sans l'intervention de pointes attaquables, et grâce à la coopération de M. Cooke, qui a trouvé que le nitrate de manganèse pouvait fournir facilement, sous l'influence du courant et de pointes en platine, des marques brunes très-caractérisées, le problème a pu être résolu dans de bonnes conditions.

Avec sa disposition actuelle, le télégraphe de M. Bonelli consiste dans deux peignes métalliques A et B (fig. 79), composés chacun de 11 aiguilles de platine, et au-dessous desquels se meut, sous l'influence d'un mouvement d'hor-

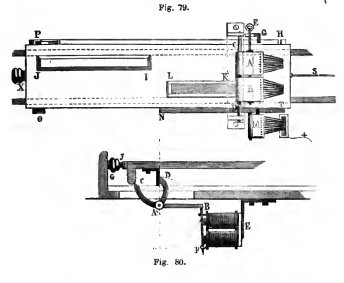


Fig. 79.

Fig. 80.

logerie et d'une corde S, un chariot PT, mobile sur un petit chemin de fer. Ces peignes sont adaptés à l'extrémité de plaques articulées sur un axe CD, qui leur permettent d'être soulevés ou abaissés sous l'influence d'une tige E, sur laquelle réagit une pièce G dont le jeu est commandé par un rebord PH adapté latéralement au chariot PT. Le composteur sur lequel sont assemblés les caractères qui composent la dépêche est fixé en IJ, dans une rainure disposée à cet effet, et les feuilles destinées à recevoir la dépêche sont appliquées en KL, sur une lame d'étain ou de fer argenté mise en rapport avec la terre. Un commutateur M, composé d'un peigne de 11 dents de platine et placé en dehors du

chemin de fer, peut, en plongeant dans une petite auge remplie de mercure, établir la communication entre les fils de ligne et le transmetteur, lorsque celui-ci doit transmettre. Son jeu est obtenu par l'intermédiaire d'une bascule que fait réagir un second rebord TN adapté au chariot. Enfin une détente électro-magnétique, placée en X, permet aux chariots des deux stations en correspondance d'être mis en mouvement en même temps; cette détente, que nous représentons vue de profil dans la figure 80, et qui est placée au-dessous du chemin de fer, se compose d'une bascule CAB, articulée en A et appuyée en B sur l'extrémité de l'armature de l'électro-aimant E. Un doigt AD, buté contre une pièce D adaptée au-dessous du chariot, maintient celui-ci à l'extrémité de sa course et appuyé contre un tampon à ressort G, en connexion avec le circuit de ligne et l'électro-aimant E. Les communications avec les piles sont établies par le butoir J, et sont tellement disposées, que les courants des deux piles aux deux stations s'additionnent pour passer dans le circuit correspondant aux électro-aimants de détente E. Par suite de cette disposition, on comprend aisément qu'il suffit d'une fermeture de ce circuit pour provoquer une attraction des électro-aimants en question et le déclanchage de la bascule CAB, qui tombe alors verticalement. Le mouvement d'horlogerie destiné à entraîner le chariot PT, par l'intermédiaire de la corde S, est placé, comme le système de déclanchage précédent, au-dessous du chemin de fer, et consiste dans un simple mécanisme à deux mobiles modéré par un volant à ailettes. Ce mécanisme se remonte par le fait même du recul du chariot contre le tampon G, recul qui se fait à la main.

Voici maintenant le jeu de cet appareil, qui doit être placé d'une manière inverse pour les deux stations en correspondance.

Au moment où le chariot PT (fig. 79 et 80) est à l'extrémité

de sa course, la partie recourbée de la pièce G est placée dans les deux appareils, au-dessous du rebord HP, et, n'agissant pas sur la tige E, elle permet à un fort ressort à boudin, placé en E, d'appuyer sur cette tige de manière à abaisser les peignes A et B à distance suffisante de la surface du chariot pour rencontrer les types du composteur et le papier chimique. A l'une des stations, le commutateur M plonge dans le mercure; à l'autre, il est soulevé, et ce soulèvement et cet abaissement sont maintenus pendant une moitié de la course du chariot par l'action d'une pièce qui, en rencontrant le rebord NT, fait basculer le peigne M.

Avec la disposition représentée fig. 79, l'appareil reçoit dans la première moitié de sa course et transmet dans la seconde moitié ; mais l'appareil qui est en correspondance avec lui doit avoir une disposition complétement inverse, c'est-à-dire que le papier chimique doit être placé en IJ et le composteur en KL. Or, voici ce qui arrive quand les deux appareils se trouvent déclanchés :

A la station A le peigne A, dans la première moitié de la course du chariot PT, rencontre les différentes parties métalliques des types en relief, et provoque à travers les différents circuits une série de fermetures de courant, qui se traduisent à la station B (celle où est l'appareil représenté fig. 79) par une série de traces brunes d'oxyde de manganèse marquées sur le papier chimique et reproduisant exactement les types en question. Le peigne du commutateur M est alors plongé dans le mercure à la station A, et met le pôle positif de la pile de cette station en communication avec les différents circuits. Dans la seconde moitié de la course du chariot PT, c'est le peigne B à la station A qui fonctionne et qui, en appuyant sur KL, reproduit électro-chimiquement la dépêche envoyée de la station B; le peigne M est alors soulevé et isole complétement les circuits de la pile de la station A.

Pour remettre les appareils en état de fonctionner de nouveau, il suffit de repousser les chariots PT contre les tampons X, car il résulte de ce simple mouvement de recul : 1° que les peignes A et B se trouvent soulevés de manière à ne pas toucher les types ni la dépêche imprimée; 2° que les chariots se trouvent renclanchés; 3° que les courants des deux piles se trouvent disposés de manière à circuler dans le même sens à travers les électro-aimants E, E'. Le premier effet est obtenu par l'intermédiaire de la pièce G, qui, après avoir glissé sur le rebord HP tout le temps de la course du chariot, a été forcée de ressortir par l'entaille H et de se placer au-dessus du même rebord HP. Tout le temps du recul du chariot, cette pièce soulève la tige E, et par conséquent les peignes A et B; ce n'est que quand le chariot arrive à son point de départ que le rebord HP, terminé par un pied de biche P, permet à la pièce G d'échapper et de se replacer au-dessous du rebord HP. Le second effet est produit par l'intermédiaire du bras AC (fig. 80) de la bascule de la détente qui, étant rencontré par l'appendice C du chariot, se trouve repoussé de côté et reporte la tige AB sur l'armature de l'électro-aimant E, en même temps que le bras AD vient faire arrêt. Enfin le troisième effet résulte du contact des deux tampons élastiques G et J et de l'appendice O (fig. 1), qui en soulevant la bascule du commutateur M coupe la communication de la pile avec les fils de ligne, et permet de la réunir en X au circuit des électro-aimants de détente.

M. Bonelli prétend avoir trouvé le moyen de faire réagir les piles des deux stations en correspondance, de telle manière que les courants s'additionnent pendant les fermetures provoquées sur le transmetteur et soient opposées pendant les interruptions, mais j'avoue que je n'ai pu saisir cette combinaison.

Si l'on considère qu'une dépêche est, avec ce système,

reproduite du premier coup, et que sa vitesse de transmission n'est limitée que par celle avec laquelle les effets électro-chimiques peuvent se produire, on comprend facilement qu'il devient possible, par ce moyen, de débiter un très-grand nombre de dépêches. M. Bonelli estime à 500 le nombre de dépêches qu'il peut ainsi transmettre en une heure. Mais ce chiffre, qui nous paraît très-exagéré[1], n'a rien de positif, car jusqu'à présent aucune expérience en grand n'est venue le justifier. Nous pourrons, du reste, être fixés prochainement à cet égard, car une ligne télégraphique entre Liverpool et Manchester a été dernièrement disposée à cet effet, et va être mise en fonction. Dans tous les cas, on pourra toujours objecter à ce système que l'installation d'une ligne de onze fils, et même de sept fils, est non-seulement une dépense très-considérable, mais encore présente de nombreux inconvénients, tant à cause des défauts d'isolation et des mélanges qui ont toujours lieu, que par l'impossibilité dans laquelle on serait d'affecter les mêmes poteaux au service de plusieurs lignes. Il faudrait en effet, avec ce système, autant de rangées de poteaux qu'il y aurait de lignes à servir ; et si l'on considère que déjà, sur certaines de nos lignes qui n'exigent pourtant qu'un seul fil, on a été obligé, par suite de leur multiplicité, d'établir trois rangées de ces poteaux, on comprendra facilement l'impossibilité d'un pareil système sur nos grandes lignes. Ce n'est donc que sur de petits rayons, et pour le service télégraphique intérieur des villes manufacturières et commerçantes que le système

1. Ce chiffre supposerait pour la transmission de chaque dépêche une durée de 7 secondes. Or, d'après la vitesse communiquée au chariot dans les expériences faites à l'exposition, il faut au moins ce temps pour que ce chariot puisse accomplir sa course entière. Si on compte pour le changement de la bande de papier et le retour du chariot à son point de départ le même temps, on arrive à une durée de 15 secondes pour la transmission d'une dépêche, ce qui donne 250 dépêches à l'heure. Ce serait une vitesse environ quintuple de celle du télégraphe Hughes.

en question pourrait être employé avec avantage, car il permettrait d'abaisser considérablement la taxe des dépêches.

Télégraphes autographiques de MM. Leuduger-Fortmorel et Garceau. — Le problème de la reproduction des dépêches autographiques, par l'emploi de moyens mécaniques basés sur le jeu du pantographe, problème déjà étudié depuis longtemps par MM. Lacoine et Bienaymé, et dont nous avons donné la solution dans notre dernier volume, a été repris dernièrement par MM. Garceau et Leuduger-Fortmorel ; mais les systèmes proposés par ces messieurs ne paraissent pas être dans de meilleures conditions pratiques que leurs aînés ; néanmoins nous allons en donner une légère idée.

Pour obtenir le mouvement en tous sens du crayon d'un pantographe ordinaire, M. Leuduger-Fortmorel part de ce principe qu'il suffit de faire décrire aux points d'articulation des deux règles portant le crayon de cet appareil des arcs plus ou moins étendus ayant pour centre l'angle du parallélogramme opposé à celui où est placé le crayon. Or, pour commander électriquement ces deux mouvements arqués, l'inventeur articule les deux branches portant le crayon à deux roues placées l'une au-dessous de l'autre et ayant leur centre correspondant à celui des arcs qui doivent être décrits par ces branches. Chaque roue a des divisions gouvernées par un échappement électro-magnétique qui réagit lui-même sur un commutateur destiné à la transmission, et chacun de ces commutateurs, suivant le mouvement du pantographe transmetteur, à gauche ou à droite, de haut en bas, fait fonctionner soit l'une, soit l'autre des deux roues de l'appareil correspondant, ou provoque le mouvement de celles-ci soit dans un sens, soit dans l'autre. Il en résulte que la ligne télégraphique en rapport avec les appareils est obligée de se composer de deux fils, et que l'on est forcé d'employer des électro-aimants à armatures aimantées, afin d'obtenir quatre fonctions différentes de la part des organes qui sont en jeu.

Le système de M. Garceau, qui a été longuement décrit dans les *Annales télégraphiques*, tome II, page 213, et qui a précédé celui que nous venons de décrire, lui est tout à fait analogue quant au principe; seulement les roues commandant le mouvement des branches mobiles du pantographe, au lieu d'être placées l'une au-dessus de l'autre, à l'angle du parallélogramme opposé à celui qui porte le crayon, sont placées à distance et ne réagissent sur le pantographe que par l'intermédiaire de deux arcs dentés adaptés aux branches libres de cet appareil, comme on le voit dans la figure ci-dessous.

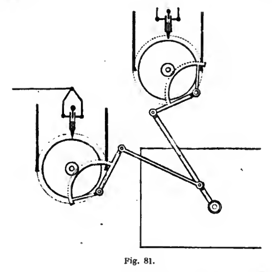


Fig. 81.

Nous ne nous arrêterons pas davantage sur ces sortes d'appareils qui, comme on le comprend aisément, sont complétement impraticables, et qui ne promettent, même théoriquement, que la reproduction de lettres tremblées, que les moindres défauts dans la transmission déformeraient même complétement, et qui exigeraient, pour être lisibles, des

roues à dents tellement fines, qu'une lettre pourrait nécessiter 20 ou 30 émissions de courant.

Télégraphes imprimeurs.

Les défauts capitaux des télégraphes imprimeurs étaient, comme nous l'avons dit dans nos précédents volumes, leur lenteur de transmission et la nécessité dans laquelle on se trouvait de les ramener au repère après l'impression de chaque lettre, afin d'éviter l'accumulation des erreurs résultant des défauts de transmission. Ces défauts nous paraissaient si graves que nous avions douté un instant de l'application pratique de ces sortes d'appareils; mais grâce à une conception hardie du professeur américain Hughes, conception que l'on aurait pu taxer de fantastique si elle n'avait fourni d'aussi bons résultats et que l'on doit maintenant regarder comme l'expression d'un élan de génie, ces inconvénients ont disparu comme par enchantement, et les télégraphes imprimeurs sont devenus les appareils télégraphiques les plus expéditifs que nous ayons. Grâce à eux, on peut expédier aujourd'hui, dans le même temps, trois fois plus de dépêches que par les télégraphes actuellement en usage, et ces dépêches pourraient être livrées au public telles qu'elles se présentent au sortir de l'appareil. C'est réellement un résultat merveilleux et qu'on n'aurait guère soupçonné il y a quelques années.

Télégraphe imprimeur de M. Hughes. — Nous disions que le télégraphe Hughes devait son origine à une conception presque fantastique : on va pouvoir en juger. Jusqu'à présent, tous ceux qui se sont occupés de télégraphes imprimeurs, et moi-même tout le premier, ont cru que, pour produire l'impression d'une lettre, il fallait d'abord faire arriver la lettre devant le mécanisme imprimeur, l'arrêter un instant et produire l'impression pendant cet arrêt; c'est là vérita-

blement ce qui est logique, et toutes les inventions de télégraphes imprimeurs qui ont été faites ont reposé sur cette base. M. Hughes, voyant dans cet arrêt non-seulement une perte de temps regrettable, mais encore un inconvénient grave pour les systèmes à mouvements synchroniques qui avaient jusque-là fourni les meilleurs résultats, a voulu le supprimer complétement, et pour cela il a cherché à *imprimer les lettres au vol.* Pour concevoir une pareille idée, il fallait être à coup sûr Américain, car il était à supposer que la pression exercée sur une roue des types en mouvement devait, sinon l'arrêter, du moins ralentir suffisamment sa marche pour détruire le synchronisme, et en second lieu on devait s'attendre à ce que l'impression ne pût jamais être assez prompte pour fournir des caractères suffisamment nets et convenablement séparés. Il en a été tout autrement, grâce aux heureuses dispositions prises par M. Hughes.

Afin d'éviter d'abord la destruction du synchronisme, M. Hughes a imaginé de placer sur le même axe que la roue des types une roue dite *correctrice*, ayant pour effet, après chaque impression de lettre, de rétablir la roue des types dans sa véritable position. De cette manière, si un retard était produit par le fait de l'impression, ce retard pouvait être immédiatement corrigé; en second lieu, pour obtenir une impression excessivement prompte, la roue des types a été fixée sur l'avant-dernier mobile de l'appareil, et la pièce destinée à produire l'impression étant adaptée au dernier mobile a pu être disposée de manière à effectuer son mouvement dans 1/140 de seconde, alors que la roue des types n'effectuait sa rotation qu'en une demi-seconde; ces deux mouvements étant d'ailleurs solidaires, la correction dont nous parlions à l'instant devenait possible. Pour obtenir tous ces effets, il fallait nécessairement un mécanisme d'horlogerie bien puissant, et pour commander un pareil mécanisme une force électrique très-énergique était indispen-

sable. Mais M. Hughes n'a pas été plus embarrassé par cette question que par les autres, et pour obtenir cette force électrique puissante, il a fait réagir son appareil avec des électro-aimants dans leur maximum de force, c'est-à-dire avec leur armature au contact des pôles. De cette manière, l'action de ces électro-aimants n'était produite que sur une rupture du circuit, et comme l'armature pouvait être ramenée mécaniquement au contact de l'électro-aimant, il centuplait ainsi en quelque sorte l'effet électrique. Aussi ces appareils, tout volumineux qu'ils sont, et quoique commandés par un poids de 50 kilogrammes, ont pu fonctionner sans relais de Paris à Marseille. C'est réellement merveilleux!!!

Dans l'exposé succinct que nous venons de faire de l'invention de M. Hughes, nous n'avons parlé que des principes nouveaux imaginés par lui; mais son appareil ne serait pas devenu pratique s'il n'avait apporté aux différents mécanismes qui le composent d'importants perfectionnements. Parmi ces perfectionnements, l'un des plus importants se rapporte au mécanisme destiné à rendre aux deux stations la marche des roues des types complétement synchronique. Nous avons vu, dans notre deuxième volume, que M. Theiler avait employé pour cela un échappement, dont l'ancre, munie d'un contre-poids mobile, pouvait osciller plus ou moins vite, (suivant l'éloignement plus ou moins grand de ce contre-poids de l'axe d'oscillation de l'ancre); en réglant convenablement ces contre-poids, qui faisaient en quelque sorte l'effet d'un pendule, on pouvait régulariser jusqu'à un certain point la vitesse des deux mécanismes. M. Hughes a eu recours à un moyen analogue; mais ayant besoin d'une bien plus grande précision, et ses appareils devant marcher beaucoup plus vite que ceux de M. Theiler, tout en produisant des effets exigeant de la force, il a dû avoir recours à des actions plus précises et moins brusques. Pour cela, il a d'abord substitué à la tige rigide de l'ancre d'échappement de Theiler une lame

d'acier vibrante dont la flexion, tout en amortissant les chocs produits par les alternatives de mouvements contraires, avait l'avantage de régulariser beaucoup mieux le mouvement de l'appareil, en faisant de cette tige elle-même un véritable pendule à ressort. En second lieu, pour uniformiser le mouvement et emmagasiner une certaine quantité de force, il a adapté, sur l'axe même portant la roue d'échappement en question, un volant assez lourd. Ce système, toutefois, bien que parfait théoriquement, avait un inconvénient pratique qui a dû faire rechercher d'autres moyens; il arrivait souvent, en effet, que les tiges vibrantes de l'échappement se brisaient à force de vibrer, et l'échappement lui-même occasionnait un bruit fort désagréable. Après bien des recherches, M. Hughes, aidé de M. Froment, s'est décidé à substituer à cette lame vibrante un pendule conique à tige flexible faisant fonction de régulateur. Ce système a produit de bons effets, mais il n'a pas cependant empêché complétement, nous devons le dire, la rupture des tiges. Aussi MM. Hughes et Froment sont-ils encore en recherche de nouveaux moyens. Nous allons maintenant donner une description complète de cet ingénieux appareil.

La figure 5, pl. I, représente le plan du récepteur de cet appareil, qui est disposé, comme on le voit, sur une table AB, munie d'un clavier CD.

Les trois premiers mobiles de cet appareil n'ont d'autre effet que de transmettre la force résultant du poids appliqué à la roue R (par l'intermédiaire d'une chaîne de Vaucanson) à l'axe *a*, qui porte cinq organes : 1° la roue des types T; 2° la roue correctrice *c* dont nous avons parlé; 3° une roue à rochet en acier fortement trempé et à dents très-fines *d*, sur laquelle réagit un encliquetage porté par la roue correctrice; 4° une roue d'angle *e*, ayant pour but de communiquer le mouvement à une roue *f*, faisant partie du mécanisme transmetteur et placée au-dessous des mécanismes

précédents; 5° une roue *g*, communiquant un mouvement 10 fois plus rapide à un axe *bb'*, dont les fonctions sont très-complexes.

Cet axe *bb'* est d'abord divisé en deux parties que peut réunir en temps convenable et dans des conditions déterminées une boîte d'engrenage à déclanchement *h*, dont nous étudierons à l'instant la disposition, et qui a pour effet de ne laisser fonctionner la partie *b'* que sous l'influence d'une répulsion de l'armature II de l'électro-aimant EE. La partie *b* de cet axe porte : 1° une roue à rochet *i* dentée très-finement; 2° le volant régulateur V; 3° une pièce *j*, destinée à réagir sur le pendule conique P. La partie *b'* porte le système d'encliquetage *h*, et quatre cames dont on verra la disposition fig. 7, pl. I, lesquelles sont destinées à soulever le mécanisme imprimeur, à faire avancer le papier, à faire fonctionner la roue correctrice et à replacer les appareils au repère. Le tampon encreur est d'ailleurs figuré en W.

Le manipulateur se compose du clavier CD, dont les touches correspondent, par des tiges recourbées convenablement, à des tiges verticales passant dans de petits trous et rangées circulairement autour de l'axe de la roue *f*, comme on le voit fig. 84, page 374.

Enfin X est un interrupteur pour la transmission ou la réception, et Y un commutateur suisse à quatre trous.

Telle est la disposition générale de l'appareil; nous allons maintenant en étudier les divers organes.

RÉCEPTEUR. — *Mécanisme régulateur du synchronisme.* — Ce mécanisme consiste, comme nous l'avons déjà dit, dans le volant V et un pendule conique horizontal P, dont la vitesse peut se régler à volonté et dont la marche est régularisée par l'amplitude plus ou moins grande du cercle décrit par la boule P. A cet effet, le pendule en question P est fixé à une aiguille de fer qui peut être avancée ou reculée par l'intermédiaire d'une crémaillère KU sur laquelle elle est fixée

et qu'on manœuvre à l'aide d'une vis de rappel à pignon *v*. Cette aiguille est soutenue sur la tige du pendule par l'intermédiaire de deux coques, et la tige elle-même en acier trempé est pincée fortement en N à son extrémité supérieure, alors qu'elle est maintenue un peu infléchie à son extrémité inférieure par une lame de cuir *j*, adaptée au mécanisme moteur. Ce mécanisme se compose d'un levier *mm*, adapté sur l'axe *b* et qui tourne avec le volant V; il porte une pièce de cuivre sur laquelle est fixée la lame de cuir *j*, et qui est articulée de manière à correspondre à une bascule à contrepoids *n*, munie d'un frein en flanelle. Ce frein appuie légèrement, en temps ordinaire, sur la circonférence d'un cercle métallique fixe *uu*, autour duquel il tourne, entraîné qu'il est par le levier *mm*. Mais quand le mouvement que ce levier communique au pendule par l'intermédiaire de la lame de cuir *j* est plus accéléré qu'il ne doit être et a fait infléchir cette lame au delà du point voulu pour la vitesse normale, ce frein appuie plus fortement sur la circonférence *uu* et limite l'écart du pendule. Cet effet n'exerce d'ailleurs aucune action sur la régularisation du mouvement du pendule, et n'a été introduit que pour éviter la rupture de la tige tournante[1].

Un frotteur O, appliqué contre le volant V, et qu'on manœuvre à l'aide d'un levier vertical Q muni d'un excentrique, permet de débrayer et d'embrayer à volonté le mouvement de l'appareil.

Mécanisme imprimeur. — Nous représentons figure 7, pl. I, ce mécanisme. La roue des types est en T, la roue

1. Pour être juste, nous devons dire que M. Renoir avait depuis longtemps proposé de substituer à la lame vibrante de l'appareil primitif de M. Hughes un régulateur à force centrifuge analogue à celui des machines à vapeur, et devant réagir comme lui en accélérant ou en retardant mécaniquement le mouvement du moteur à l'aide d'un frein; mais nous ferons observer que, dans le mécanisme décrit ci-dessus, le frein ne réagit aucunement pour modérer ou accélérer la vitesse du moteur; la preuve, c'est qu'en le supprimant la marche de celui-ci n'en est que mieux régu-

correctrice en C, le tampon encreur en W, le rouleau imprimeur en R et l'axe aux quatre cames en *b'*. La roue des types n'a rien de particulier ; elle est en acier trempé et fixée sur un axe creux qui porte en même temps la roue correctrice. Cet axe creux est adapté à frottement doux sur l'axe du quatrième mobile *a*, fig. 5, pl. I. La roue correctrice est un peu plus compliquée ; elle porte d'abord antérieurement et en guise d'assiette un disque de cuivre D, pourvu d'une coche *c* (fig. 7), dans laquelle peut s'introduire le bec d'un crochet *a* quand la pédale P est abaissée. Dans ce cas, la roue des types présente devant le rouleau R l'espace blanc. Sur sa face opposée cette roue correctrice C porte un cliquet *d*, muni d'un bec à trois dents qui, en temps ordinaire, appuie sur la circonférence d'une roue à rochet E, montée sur l'axe du quatrième mobile et placée derrière la roue correctrice. Ce cliquet, que l'on voit plus distinctement fig. 6, pl. I, est muni d'une petite goupille qui, quand la pédale P est abaissée, vient buter contre une pièce d'arrêt *b*, repoussée de côté par le bras *e* (par l'intermédiaire d'un plan incliné), et qui a pour effet de dégager la roue à rochet E. Celle-ci peut dès lors tourner avec le mécanisme d'horlogerie, sans entraîner ni la roue correctrice, ni la roue des types, qui restent ainsi au repère. Ce dernier effet se produit aussitôt que le crochet *a* est entré dans la coche *c*.

Le rouleau imprimeur R se compose d'un cylindre garni d'une enveloppe de caoutchouc, adapté entre deux roues

larisée; il n'a été introduit, comme nous l'avons dit, que pour empêcher une trop grande amplitude de l'écart du pendule conique.

M. Renoir a encore proposé un autre système pour suppléer à la lame vibrante de l'appareil en question. C'est de faire appuyer sur un rochet adapté au dernier mobile un cliquet réagissant secondairement sur un frein. Lorsque la vitesse du mécanisme est trop considérable, le cliquet reste soulevé au-dessus des dents du rochet et le frein appuie sur le volant; quand, au contraire, cette vitesse est trop minime, le cliquet a le temps de s'infléchir, et par suite le frein n'exerce plus aucune action.

de fer à dents très-fines, destinées à entraîner la bande de papier à mesure que le rouleau tourne. Celui-ci est, en outre, accompagné d'une roue à rochet sur laquelle réagit le cliquet *i*, et qui a pour fonction de faire avancer le rouleau, et par suite la bande de papier, après chaque impression de lettre. Cette roue, ainsi que le rouleau R, sont montés sur un axe fixé à un levier articulé GF, dont l'extrémité libre G se termine par une fourchette d'encliquetage *jl*. Un autre levier FV, placé parallèlement derrière le précédent, et articulé sur le même axe F, porte le cliquet à ressort *i*, et se termine par un bec K dont nous verrons à l'instant la fonction; un ressort *r* soulève ce levier en temps ordinaire, et un support *s* limite sa course.

L'axe aux quatre cames faisant partie du cinquième mobile se fait remarquer en *b'*. C'est la pièce la plus importante de l'appareil, car c'est elle qui détermine à la fois l'impression, l'avancement du papier, la correction et le soulèvement de la pédale P après la mise au repère; l'impression se fait par l'intermédiaire de la came *m*, qui, en soulevant le bec *j*, force le rouleau R de venir appuyer contre la roue des types. Cette action s'effectue, comme nous l'avons vu, en moins d'un 140me de seconde. La partie *l* de la fourchette *jGl* limite la course de ce rouleau. L'avancement du papier est produit par le limaçon *n* qui, en appuyant sur le bec K, fait abaisser le levier VF, et par suite le cliquet *i*, qui fait tourner d'un cran le rochet du rouleau R. La correction s'opère par l'intermédiaire de la came *q*, qui est taillée de manière à faire avancer celle des dents de la roue correctrice devant laquelle elle se présente, si elle est en retard, ou à repousser celle qui est en arrière, si cette dernière est en avance. Enfin le bras *o*, muni d'une goupille *o*, est disposé de manière qu'après l'abaissement complet de la pédale P le levier *u* se trouve rencontré par cette goupille qui l'écarte et replace la pédale P dans sa position primitive. Alors la roue

correctrice, ainsi que la roue des types, participent au mouvement de la roue E, par suite du dégagement du cliquet *d*.

Mécanisme déclancheur. — Ce mécanisme, que nous représentons fig. 82 et 83 ci-dessous[1], se compose essentiellement

Fig. 82.

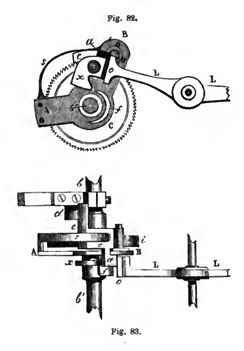


Fig. 83.

d'une roue à rochet *i*, fixée à l'extrémité de l'axe *b*, et sur laquelle appuie un cliquet à trois dents en acier trempé *c*, que maintient un ressort *s*. Ce cliquet est porté, ainsi que le ressort *s*, par une pièce ABC, fixée sur l'axe *b'*, et se trouve muni en outre de deux appendices ou butoirs *a*, *e*, destinés au dé-

1. Par inadvertance du dessinateur, ce mécanisme a été gravé à l'envers.

brayement et à l'embrayement de la roue *i*. L'action du butoir *e* ne s'effectue qu'après un tour complet de la roue *i* et par l'intermédiaire d'un plan incliné *d* qui soulève le cliquet et dégage la roue; alors la bascule LL, que commande l'électro-aimant, se trouve soulevée, et le butoir *a* appuie contre la saillie *o* du levier LL. Dans cette situation, les deux axes *b* et *b'* sont indépendants l'un de l'autre, et la roue *i* peut tourner sans entraîner la pièce ABC et par suite l'axe *b'*; mais si, par l'effet de l'électro-aimant, le levier LL s'abaisse, le cliquet *c*, qui a échappé au plan incliné *d* et qui n'est plus soutenu que par la partie *x* du levier LL, s'abaisse également, et, en s'appliquant sur la roue *i*, provoque l'entraînement de la pièce ABC, qui tourne avec la roue *i* jusqu'à ce que l'appendice *e* ait de nouveau rencontré le plan incliné *d*; mais alors une excentrique *f*, adaptée à la pièce ABC, a soulevé la partie *x* du levier LL et a remis celui-ci dans sa position première. Dès lors l'arrêt de l'axe *b'* est assuré jusqu'à un nouvel abaissement du levier LL. C'est précisément ce soulèvement du levier LL opéré mécaniquement qui replace l'armature de l'électro-aimant en contact avec lui. En effet le levier LL, qui bascule en H, appuie par son extrémité J (fig. 5, pl. I), et par l'intermédiaire d'une vis calante, sur l'armature II, qui elle-même est portée par un levier K articulé en S et sollicité sans cesse à se soulever sous l'effort de deux ressorts antagonistes adaptés en U'.

Il résulte de la disposition précédente que chaque répulsion de l'armature II a pour effet de faire accomplir à l'axe *b'* un tour sur lui-même, et de provoquer par suite le jeu des quatre cames du mécanisme imprimeur dont nous avons parlé précédemment.

Le système électro-magnétique lui-même présente quelques particularités. Ainsi les deux branches de l'électro-aimant EE, au lieu d'être réunies par une traverse de fer, sont fixées sur les deux pôles d'un aimant en fer à cheval

dont on peut, du reste, modérer la force à l'aide d'une armature Z qu'on peut retirer ou faire glisser le long des branches de l'aimant. Comme l'appareil fonctionne par répulsion, l'armature H est aimantée et n'est séparée, en temps ordinaire, des pôles de l'électro-aimant que par une simple épaisseur de papier qui empêche la trop grande adhérence des deux pièces magnétisées, de sorte que pour détacher l'armature H il suffit d'envoyer un courant dans une direction convenable pour combattre l'action attractive des deux pièces aimantées.

Manipulateur. — Le manipulateur du télégraphe Hughes se compose d'un clavier CD (fig. 5, pl. I) et d'un commutateur circulaire autour duquel tourne un frotteur qui est mis en mouvement par la roue *f*. Ce commutateur, que nous représentons fig. 84 ci-dessous, se compose de vingt-huit petits

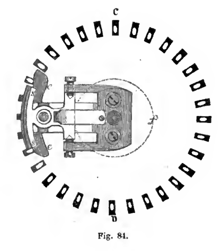


Fig. 84.

goujons adaptés à des bascules qui correspondent aux différentes touches du clavier et qui peuvent ressortir par des

ouvertures disposées circulairement autour de l'axe de la roue *f*, quand les touches du clavier se trouvent abaissées. Ces petits goujons, arrondis par le haut, peuvent, par l'intermédiaire d'articulations et de deux ressorts à boudin, être déprimés au moment du passage du frotteur et même se trouver rejetés sur le côté. Nous verrons à l'instant la nécessité de cette disposition. Quant au frotteur, il consiste essentiellement dans un rebord circulaire *ss*, destiné à produire les contacts et qui tourne un peu en dehors du cercle occupé par les goujons, et dans un excentrique *ee*, qui a pour effet : d'abord de repousser de côté ceux des goujons qui ont été successivement soulevés afin de les placer sous le rebord *ss*, et en second lieu de faire obstacle au soulèvement de ces goujons et d'empêcher par suite leur contact avec le rebord *ss*, quand l'abaissement des touches du clavier n'est pas fait en temps opportun. Le rebord *ss* est en rapport métallique avec le circuit, et les goujons correspondent à celui des pôles de la pile qui doit fournir le courant dans le sens voulu pour combattre l'action de l'aimant en fer à cheval.

Jeu de l'appareil. — Pour que les appareils aux deux stations opposées soient toujours dans les mêmes conditions de synchronisme, il faut que les récepteurs soient interposés dans le même circuit. Conséquemment la dépêche envoyée est imprimée à la station de départ comme à la station d'arrivée. Pour établir le synchronisme, on met en mouvement les appareils aux deux stations en soulevant le frein des volants, et, quand leur vitesse est devenue suffisante pour que la roue des types fasse deux tours par seconde, on met au blanc les deux appareils en appuyant aux deux stations sur la pédale P; puis l'un des deux correspondants envoie un certain nombre de fois une même lettre. Si cette lettre se reproduit toujours, le synchronisme est suffisant, et il n'y a rien à régler; mais si, au lieu d'une même lettre, on a des lettres différentes, les appareils doivent être réglés, et on peut savoir

si le récepteur de la station qui reçoit doit avoir sa marche accélérée ou retardée, par la nature elle-même des lettres transmises. En effet, si le B est la lettre sur laquelle on a établi le synchronisme et qu'après deux émissions on reçoive un C, il est certain que l'appareil de la station qui reçoit est en retard sur celui de la station qui transmet; au contraire, si c'est la lettre A qui succède à la lettre B, c'est que l'appareil en question est en avance. Or, pour corriger ces variations, il suffit, comme nous l'avons vu, de reculer ou d'avancer la boule du pendule conique, en tournant la crémaillère K (fig. 5, pl. I) dans un sens ou dans l'autre.

Les appareils étant ainsi réglés, il suffit, pour transmettre la dépêche, d'appuyer successivement sur les différentes touches correspondantes aux lettres qui composent la dépêche. Sous l'influence de l'abaissement de chacune de ces touches, un contact est produit par le frotteur tournant, et un courant est envoyé à travers le circuit, d'où résulte : 1° une répulsion des armatures II des deux appareils; 2° la mise en mouvement des axes b'; 3° la réaction de la came m (fig. 7, pl. I) sur le rouleau qui porte le papier, et qui, en s'approchant de la roue des types, vient imprimer le caractère placé en ce moment devant lui; 4° la réaction de la came n sur le cliquet destiné à faire avancer la bande de papier; 5° la réaction de la came q sur la roue correctrice, et enfin la réaction du bras o sur la pédale P, dans le cas où les appareils ont été mis au blanc. Quand tous ces effets se sont accomplis, le courant a été interrompu à travers le circuit, le mécanisme déclancheur a reporté l'armature II au contact de l'électro-aimant, et tout est disposé pour une nouvelle impression. On voit, par conséquent, que chaque impression ne nécessite qu'une seule émission de courant; ce qui est un grand avantage pour la régularité de la marche de ces sortes d'appareils.

Dernièrement, M. Hughes a perfectionné considérablement

son appareil en lui donnant la possibilité de fournir non-seulement les chiffres, mais encore les signes de ponctuation et plusieurs signaux de convention pour les besoins du service et l'abréviation des dépêches. Ces chiffres et signaux alternent sur la roue des types avec les lettres, et pour fournir leur impression il suffit de faire tourner la roue de l'intervalle d'une demi-dent, effet qui est produit automatiquement par l'intermédiaire d'un mécanisme particulier et de la came *q* placée sur l'axe *b'* (fig. 7, pl. I), quand on appuie sur une touche particulière du clavier correspondante en position au W. La fig. 6, pl. I, donne la disposition de ce mécanisme supplémentaire[1].

Cette fois la roue correctrice, au lieu d'être montée sur l'axe creux de la roue des types, est fixée sur un tube indépendant qui enveloppe celui-ci à frottement dur, et l'axe de la roue des types lui-même porte par derrière, c'est-à-dire du côté du rochet d'acier, un doigt AC engagé dans une fourchette faisant partie d'une pièce basculante BID. Cette pièce, fixée sur la roue correctrice elle-même et pivotant en I, est disposée de telle manière que, quand l'une de ses extrémités B est abaissée de manière à boucher l'intervalle de dents de la roue correctrice correspondant au W de la roue des types, comme cela est indiqué sur la figure, l'autre extrémité D se trouve relevée, et réciproquement. Or, voici ce qui résulte de cette disposition :

Quand on appuie à la station qui transmet sur la touche correspondante au W, qui alors n'est qu'un blanc, aucune impression de lettre n'a lieu, bien entendu, au récepteur, puisque le W est supprimé, mais la came correctrice, en

1. Avant l'addition de ce mécanisme, M. Renoir avait proposé à l'administration des lignes télégraphiques deux systèmes ingénieux pour réaliser le même problème; mais ils étaient beaucoup plus compliqués que celui que nous venons de décrire, et au lieu d'une seule roue des types M. Renoir en employait deux.

rencontrant l'extrémité B de la bascule BlD, la soulève, et la fourchette A, en poussant le doigt AC, fait tourner l'axe de la roue des types de l'intervalle d'un demi-espacement de lettre auquel correspond un chiffre. Toutes les touches abaissées à partir de cet instant ne détermineront donc plus d'impressions de lettres, mais bien celles des chiffres et des signaux intercalés entre les lettres. Ce ne sera que quand on aura pressé la touche du blanc des chiffres que la came correctrice, en repoussant l'extrémité D de la bascule BlD, rétablira la roue des types dans sa première position, c'est-à-dire dans celle correspondante aux impressions de lettres. Voici du reste comment sont disposés les différents caractères et signaux sur ces nouvelles roues des types.

1 A 2 B 3 C 4 D 5 E 6 F 7 G 8 H 9 I 0 J . K , L : M ' N ?
O ! P + Q — R × S ⸜ T = U (V) blanc & X « Y » Z blanc

Nous ne parlerons pas de la disposition du système moteur de l'appareil Hughes, qui est établi de manière à pouvoir se remonter avec une pédale et à prévenir quand il a besoin d'être remonté ; on le devine facilement, et d'ailleurs, c'est un détail mécanique qui n'est pas important à connaître pour l'intelligence de l'appareil.

Nous terminerons en disant que M. Renoir a encore imaginé, pour éviter les longueurs du rétablissement du synchronisme, un dispositif à l'aide duquel l'employé du poste qui reçoit peut, sans arrêter l'appareil, corriger le défaut aussitôt qu'il l'aperçoit, et cela en avançant à la main la roue des types à l'aide d'une pédale et d'une roue à rochet. Cette disposition n'a pas encore été, il est vrai, réalisée par M. Hughes.

Malgré ses immenses avantages, le télégraphe Hughes a rencontré dans sa mise en pratique beaucoup d'adversaires et un certain mauvais vouloir de la part des employés. On se plaint généralement que l'appareil se dérange fréquemment, qu'il s'use trop vite, qu'il exige beaucoup de soins

pour son réglage, et qu'il est d'une manipulation très-pénible, tant à cause du poids très-lourd qu'on est obligé de remonter sans cesse, que par l'occupation continuelle des deux mains. Mais toutes ces plaintes ne sont pas nouvelles; elles se répètent dans tous les services possibles, dès qu'on introduit quelques changements. Que n'a-t-on pas dit contre le télégraphe Morse, quand, grâce à l'heureuse initiative de M. le vicomte de Vougy, il a été appelé en France à remplacer l'ancien système à signaux Chappe? Et pourtant, aujourd'hui, on en est enchanté. D'ailleurs, ne pourrait-il pas se faire que le mécontentement dont nous parlons n'ait pas sa raison d'être dans le fait même de l'application qui a été faite du télégraphe Hughes. En raison de sa transmission très-rapide, cet appareil est et doit être installé sur les lignes les plus surchargées de dépêches. Or, c'est l'employé auquel il est confié qui a toutes les corvées, et naturellement celui-ci ne peut être que médiocrement satisfait. L'objection la plus grave qui ait été faite jusqu'ici contre cet appareil est la nécessité, qu'entraîne son emploi, de l'adjonction d'un mécanicien aux différents postes où il se trouve établi; mais il est probable qu'avant peu les causes de détérioration de cet instrument seront conjurées, et que les employés pourront eux-mêmes remédier à ses dérangements. Ce qui serait à désirer pour le moment présent, ce serait que les télégraphistes fussent assez amateurs du progrès pour faire taire un instant leurs préventions et ne considérer que les résultats obtenus; les perfectionnements viendront toujours, et ce n'est pas au début d'une invention qu'on peut espérer obtenir toutes les commodités pratiques qui sont la conséquence d'un usage prolongé des choses. Le point important est le résultat obtenu. Or, ce résultat est, comme nous l'avons dit, tout simplement merveilleux.

Système de transmission automatique appliqué au télégraphe de M. Hughes, par M. Renoir. — M. Renoir voulant faire

bénéficier les télégraphes imprimeurs des avantages de la transmission automatique, jusqu'ici appliquée seulement aux télégraphes écrivants, a combiné dans ce but un système ingénieux que nous allons décrire en quelques mots.

Au fond, ce système consiste à découper convenablement une bande de papier et à la faire passer à travers le transmetteur de manière que les parties découpées provoquent en temps convenable les contacts qui doivent produire les émissions de courants nécessaires à l'impression de la dépêche; avec le télégraphe Hughes, qui n'exige qu'une seule émission de courant pour chaque impression de lettre, le problème était assez facile, et pouvait être résolu, comme dans les systèmes que nous avons déjà décrits, avec deux mécanismes accessoires : un mécanisme *découpeur* ou *préparateur* et un mécanisme *transmetteur* substitué au manipulateur.

L'appareil découpeur de M. Renoir est une espèce de manipulateur à clavier circulaire, mis en mouvement par un mécanisme d'horlogerie, qui a pour fonction de faire tourner synchroniquement dans des plans différents trois mobiles : 1° un levier d'arrêt qui tourne horizontalement au-dessous des touches du clavier; 2° une roue des types verticale placée à la partie inférieure de l'appareil, et qui peut d'ailleurs être abaissée sur une bande de papier passant au-dessous d'elle, de manière à pouvoir laisser l'empreinte de l'un ou de l'autre des types; 3° un système de laminoir destiné, comme dans les télégraphes Morse, à faire avancer la bande de papier qu'il s'agit de préparer.

Un second mécanisme d'horlogerie est disposé de manière à faire fonctionner un emporte-pièce placé à portée de la bande de papier et disposé dans un plan parallèle à celui de la roue des types (de manière à coïncider avec le diamètre vertical de cette roue). Le jeu de cet emporte-pièce a lui-même pour effet secondaire de produire, par l'intermé-

diaire d'un levier coudé, l'abaissement de la roue des types.

Le levier d'arrêt porte une tige à tête conique, sans cesse repoussée en avant par un ressort à boudin, mais qui peut, étant refoulée, réagir sur une fourchette d'encliquetage qui déclanche et renclanche l'excentrique destinée à faire fonctionner l'emporte-pièce.

Avec cette disposition on comprend facilement que, quand le mécanisme se trouve mis en liberté, il suffit d'abaisser l'une ou l'autre des touches du clavier pour produire : 1° l'arrêt du levier tournant, et par suite le déclanchement de l'emporte-pièce ; 2° l'impression de la lettre correspondante à cette touche ; 3° la perforation de la bande de papier vis-à-vis de cette lettre. On obtient donc ainsi une bande percée de trous inégalement distancés les uns des autres qui portent la désignation des lettres qu'ils représentent.

Pour qu'une telle bande puisse produire la transmission automatique de la dépêche, il faut qu'elle passe à travers un laminoir fixé sur l'axe de la roue des types de l'appareil imprimeur de la station qui expédie ; que ce laminoir ait les mêmes dimensions que celui de l'appareil perforateur, et qu'un levier à ressort, appuyant sur la bande de papier, puisse, en s'enfonçant légèrement dans les trous du papier, produire les émissions de courant nécessaires pour produire les impressions à la station qui reçoit.

C'est ce que M. Renoir a réalisé au moyen d'un appareil accessoire composé de diverses pièces qu'il ajoute à la partie supérieure des appareils existant déjà, et qui, étant monté sur une pièce articulée à l'un des montants du télégraphe, peut être mis à volonté en rapport de mouvement avec le mécanisme de celui-ci.

M. Renoir croit qu'avec ce système on pourrait transmettre de soixante à soixante-dix dépêches par heure au lieu de quarante que l'on passe actuellement, et qu'on

pourra découper la bande de papier de manière à fournir cent vingt lettres par minute.

Télégraphe imprimeur de M. Donnier. — Le télégraphe de M. Donnier, qui a été breveté en juin 1855, est en quelque sorte la contre-partie du télégraphe Hughes, quoique accomplissant des fonctions analogues. Dans l'un, en effet, l'impression des lettres est le résultat d'une fermeture du courant opérée après un certain temps de défilement du rouage moteur de la roue des types. Dans l'autre, cette impression est le résultat de l'interruption d'un courant, qui a provoqué pendant un certain temps la marche de cette même roue des types. Les moteurs, dans les deux cas, sont d'ailleurs disposés de manière à marcher synchroniquement d'une manière continue, et les roues des types peuvent être rétablies après chaque impression de lettre dans la position qu'elles doivent avoir, à l'aide d'un mécanisme correcteur. La seule différence qui existe dans le principe des deux inventions consiste en ce que dans l'une le mouvement de la roue des types est continu, tandis que dans l'autre il est intermittent.

Dans le télégraphe de M. Donnier, comme dans celui de M. Hughes, l'appareil transmetteur et l'appareil récepteur sont reliés ensemble. A cet effet, l'axe de la roue des types porte deux roues d'assez grand diamètre, dont l'une est munie de vingt-huit saillies rectangulaires, et dont l'autre est pourvue de dents fines et pointues. Une courroie, constituée par une lame de platine très-mince entaillée de trous rectangulaires et réunissant deux poulies, passe au-dessus de la première des deux roues dont nous venons de parler et s'engrène avec elle à la manière d'une chaîne à la Vaucanson; sa longueur est égale à trois fois le développement de la circonférence de la roue sur laquelle elle engrène, et à chaque tiers de cette longueur elle porte une pièce étroite et isolante. C'est une disposition analogue à celle que j'ai intro-

duite dans mon anémographe à indications combinées (voir tome IV, page 426). Au-dessus de cette courroie se trouvent placées vingt-huit lames de ressort fixées sur une tringle métallique (en communication avec la pile de ligne) et correspondant à vingt-huit touches disposées en clavier au-dessus d'elles. Ces lames et ces touches constituent le transmetteur, qui, comme on le voit, est, sinon d'une grande sûreté, du moins d'une grande simplicité.

La deuxième roue, fixée sur l'axe de la roue des types, et que nous appellerons *roue conductrice*, porte latéralement vingt-huit chevilles, sur l'une desquelles vient s'enfourcher en temps ordinaire un levier basculant terminé par une fourchette angulaire qui produit la correction. Ce levier est monté sur une pièce dont le rôle est très-important, car elle porte en même temps un second levier qui réagit sur un interrupteur de courant, une bielle reliée au mécanisme d'horlogerie et une autre petite bielle adaptée à l'armature de l'électro-aimant du récepteur. La bielle reliée au mécanisme d'horlogerie a pour fonction d'écarter ou d'éloigner un système basculant vertical portant deux petites roues à dents pointues, dont l'une, étant rapprochée de la roue conductrice adaptée à l'axe de la roue des types, peut engrener avec elle et lui transmettre le mouvement du mécanisme d'horlogerie que lui communique la seconde roue. Or, il résulte de cette disposition qu'un courant envoyé à travers l'électro-aimant du récepteur a pour effet : 1° de désembrayer la roue conductrice de la roue des types; 2° de l'engrener avec le mécanisme d'horlogerie sans cesse en mouvement; 3° de rompre un circuit de pile locale réagissant sur le mécanisme imprimeur.

Ce dernier mécanisme, sauf la disposition des pièces, est du reste analogue à tous ceux que nous avons décrits. C'est un électro-aimant à quatre bobines, dont l'armature double, en abaissant un levier articulé, peut presser la bande de papier

contre la roue des types et provoquer, en se relevant, l'avancement de cette bande par la rotation de l'un des cylindres d'un laminoir entre lesquels elle passe.

D'après cette disposition il est facile de comprendre comment les appareils doivent fonctionner, en admettant, bien entendu, leur introduction dans le même circuit aux deux stations.

Si, à la station A, on abaisse l'une des touches du transmetteur, celle correspondant à la lettre M, je suppose, le courant sera fermé à travers le circuit de ligne par le contact du ressort placé au-dessous d'elle avec la courroie de platine. Les électro-aimants commandant la marche des mécanismes compositeurs seront mis en action aux deux stations, et les roues des types seront mises en mouvement. Ce mouvement continuera tant que la touche sera abaissée et jusqu'à ce qu'une des trois parties isolantes adaptées au ruban de platine se présente sous cette touche. Pendant ce temps les roues des types auront tourné de l'intervalle séparant la croix de la lettre M. Le courant se trouvant alors rompu, les roues des types seront désengrenées, et le courant des piles locales animant les électro-aimants des mécanismes imprimeurs provoquera l'impression de la lettre M aux deux stations.

Pour obtenir le synchronisme des mouvements des mécanismes d'horlogerie aux deux stations, M. Donnier adapte d'abord à ces mécanismes un modérateur à ailettes et un volant pesant; mais il ajoute, en outre, sur l'axe du quatrième mobile un ressort spiral dont la tension est commandée par une roue à rochet. Un cliquet adapté à l'armature d'un électro-aimant spécial, fonctionnant sous l'influence d'une petite pile locale particulière, réagit sur ce rochet et peut tendre plus ou moins le ressort suivant que les fermetures du courant de cette dernière pile sont plus ou moins rapprochées; or, ces fermetures de courant sont commandées par

l'action d'une excentrique adaptée à l'axe même du quatrième mobile dont il a été question. Comme le nombre des dents du rochet est calculé de manière que, pour une vitesse uniforme, le ressort conserve la même tension, on conçoit qu'il n'y aura excès de tension de ce ressort que quand les défauts d'uniformité qui pourraient survenir dans la marche des moteurs devront être corrigés[1].

Télégraphe imprimeur de M. Dujardin. — M. le docteur Dujardin (de Lille) est, comme on le sait, un des savants qui se sont occupés les premiers de télégraphie électrique, et son nom est attaché à l'histoire de cette science, comme ceux de MM. Steinheil, Wheatstone, Siemens, etc. C'est lui qui le premier a employé pour les appareils magnéto-électriques la disposition dans laquelle les bobines induites sont placées directement et à demeure sur les pôles mêmes des aimants, et son télégraphe écrivant, que nous avons décrit dans notre deuxième volume, était des plus ingénieux pour l'époque. On comprend, d'après cela, que M. Dujardin ne pouvait rester longtemps simple spectateur des progrès accomplis tous les jours dans la télégraphie, et qu'il devait un jour ou l'autre rentrer en lice pour apporter à la science un nouveau contingent. Aussi le voyons-nous aujourd'hui inventeur d'un nouveau télégraphe imprimeur d'une simplicité extrême, qui vient de faire ses preuves par quatre mois d'un service continu à l'administration des lignes télégraphiques françaises. C'est après le télégraphe Hughes celui qui a donné jusqu'ici les meilleurs résultats; aussi allons-nous lui consacrer quelques pages.

Ce système télégraphique comprend trois genres d'appareils : un récepteur, un manipulateur et un relais d'une disposition tout à fait particulière.

1. Voir la description et les dessins de ce télégraphe dans les *Annales télégraphiques*, tome IV, page 281.

Le récepteur se compose, comme celui de tous les appareils de ce genre, d'un mécanisme compositeur et d'un mécanisme imprimeur. Le premier fonctionne sous l'influence d'un mécanisme d'horlogerie, mais le second est mis directement en action par un électro-aimant puissant; toutefois, ce dernier mécanisme n'opère pas directement le recul de la bande de papier sur laquelle s'imprime la dépêche, et c'est un second mouvement d'horlogerie, commandé, il est vrai, par le mécanisme imprimeur, qui est chargé de cette fonction. Cet appareil est représenté fig. 8, pl. I. La roue des types se voit en R et la roue d'échappement qui la commande en A. L'électro-aimant qui met en action cette dernière a une forme particulière. Il se compose d'un électro-aimant droit E, dont le noyau de fer BC est mobile à l'intérieur du canon de la bobine et oscille autour d'un axe G, entre les pôles N, S, d'un aimant persistant en fer à cheval placé verticalement (voir fig. 16, pl. I). Une tige de fer CD renforce le magnétisme développé dans ce noyau BC, et porte elle-même la fourchette d'échappement destinée à faire fonctionner la roue A. Sous l'influence des courants alternativement renversés traversant la bobine E, le noyau BC prend des polarités différentes qui ont pour effet, comme dans les électro-aimants du père Cecchi et de M. de Lafollye, de le faire osciller, ainsi que la fourchette D; et la force avec laquelle s'effectue ce mouvement de va-et-vient peut être réglée au moyen de deux garnitures de fer N et S qui terminent les pôles de l'aimant fixe, et qui peuvent être plus ou moins rapprochées à l'aide de deux vis V, V'.

La roue des types elle-même est construite d'une manière toute nouvelle et réellement très-ingénieuse. Au lieu de porter les caractères gravés en relief sur sa circonférence, elle est composée d'un disque très-mince d'aluminium écroui sur la surface duquel sont brodés en quelque sorte les différents caractères de l'alphabet, qui se trouvent d'ailleurs dis-

posés circulairement, comme on le voit pl. I, fig. 11. Cette broderie est faite avec du fil de coton non tordu qui est introduit dans de petits trous pratiqués dans la plaque elle-même et dessinant les lettres. Les avantages de cette disposition sont que, quand ces lettres ainsi brodées se trouvent imbibées d'encre oléique, elles peuvent toujours se charger facilement de ce liquide, et on n'a pas à craindre, comme avec les autres systèmes, les empâtements. Pour obtenir les impressions il suffit qu'une bande de papier passe au-dessous de la surface de la roue, et qu'un tampon T, imprégné d'encre, vienne appuyer sur les différents caractères qui se présentent au-dessous de lui; la roue flexible s'infléchit alors, le caractère brodé chargé d'encre laisse son empreinte sur le papier, et le tampon lui-même, en imbibant par derrière le coton du caractère imprimé, le rend apte à fournir une nouvelle impression.

Le mécanisme imprimeur se compose d'un électro-aimant M qui est mis en action par le courant d'une pile locale sous l'influence d'une interruption du courant de la pile de ligne, et dont l'armature H, en réagissant sur un axe IJ, par l'intermédiaire d'un levier HK, communique au bras JT un mouvement de haut en bas qui fait appuyer le tampon T sur la roue des types. En même temps un levier LO, porté par l'axe IJ, provoque, en inclinant la bascule OQ, l'échappement d'une dent de la roue S, laquelle entraîne la bande de papier prise, comme dans le système Morse, entre deux cylindres. Cette disposition du mécanisme entraîneur de la bande de papier était commandée par la nécessité dans laquelle on se trouvait, avec ce système, de maintenir fortement tendue sous le tampon T la bande de papier, à l'aide de deux lames de ressort. Un simple encliquetage adapté aux cylindres U n'aurait pu suffire, en effet, pour vaincre la résistance ainsi produite.

Le manipulateur représenté fig. 9 et 10, pl. I, n'est autre

chose qu'un manipulateur ordinaire de télégraphe à cadran, dont la manette est disposée de manière à produire deux effets : d'abord la rotation du disque à gorge sinueuse destiné à mettre en mouvement le levier commutateur CDAB, et, en second lieu, l'inflexion d'une bascule EF ayant pour effet de couper le circuit quand la manette se trouve abaissée dans l'une ou l'autre des coches correspondant aux différentes lettres, abaissement qui doit déterminer les impressions.

Le levier commutateur se compose d'une bascule BG oscillant en A, dont l'extrémité B porte une goupille engagée dans la gorge sinueuse du disque tournant, et dont l'autre extrémité est munie de deux lames de ressort isolées C et D, pouvant appuyer alternativement sur trois rebords métalliques H, I, J. L'une de ces lames C est en communication avec le pôle positif de la pile de ligne; l'autre D avec le métal du manipulateur, et par suite avec le levier EF; et les rebords métalliques eux-mêmes destinés à former contact communiquent au fil de ligne et à la terre par l'intermédiaire des boutons L et T; enfin, la bascule EF, terminée par un ressort F, s'appuie contre un interrupteur K, composé de deux lames métalliques réunies par un manchon d'ivoire, et communiquant l'une F avec le pôle négatif de la pile, l'autre avec le bouton du récepteur R. Le jeu de cet appareil est facile à comprendre.

En temps ordinaire la manette est abaissée dans la coche correspondant à la croix, comme l'indiquent les lignes ponctuées de la figure 9. Une petite bascule V formant arc-boutant assure même cette position de la manette, et le levier EF est porté contre la partie métallique du commutateur K, qui est en rapport avec le récepteur ; on est donc ainsi dans la position de réception. Quand on veut transmettre on tourne la manette, absolument comme on le ferait avec le manipulateur d'un télégraphe à cadran ordinaire, et il résulte de ce

mouvement de rotation une série d'inversions du courant de la pile de ligne, qui réagissent sur les relais interposés dans la ligne et font tourner la roue des types jusqu'à ce que la manette, ayant été enfoncée dans la coche correspondant à la lettre transmise, ait provoqué une rupture du circuit (par le soulèvement de la bascule EF) et ait produit l'impression de la lettre.

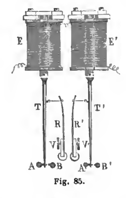


Fig. 85.

Le relais de l'appareil de M. Dujardin est représenté fig. 85 ci-dessus. Il se compose de deux systèmes électro-magnétiques E, E', exactement semblables à celui du récepteur, et sur lesquels réagissent deux ressorts antagonistes R, R' dont on peut graduer la tension à l'aide de deux vis de rappel V, V'. Ces ressorts agissent en sens inverse l'un de l'autre, c'est-à-dire tendent à appuyer les tiges T, T' contre les contacts B et A', qui sont en rapport avec le circuit d'une pile locale passant par l'électro-aimant du mécanisme imprimeur du récepteur correspondant. Il résulte déjà de cette disposition que, si les deux électro-aimants E, E' ont leurs noyaux de fer réunis métalliquement, le courant de cette pile locale pourra, au moment de l'inertie de ces électro-aimants, animer le mécanisme imprimeur en question et déterminer une

impression, ainsi qu'on l'a vu précédemment. Mais pour que cet effet ne se manifeste pas quand il n'y a pas d'impression à produire, le fil des électro-aimants E, E' est interposé dans le circuit de la ligne et disposé sur chacun d'eux de manière que le mouvement des deux tiges T et T' s'effectue toujours parallèlement, quel que soit le sens du courant transmis. Il suffit, pour obtenir ce résultat, de placer les électro-aimants E, E' exactement dans les mêmes conditions par rapport aux aimants fixes qui agissent sur eux. Or, il est facile de comprendre d'après cela que tant que le courant de ligne ne sera pas interrompu, le circuit de la pile locale ne sera jamais complété, car les tiges T et T' toucheront toujours soit A et A', soit B et B'; et leur contact simultané avec B et A' ne pourra se faire que quand les ressorts antagonistes R, R' exerceront une action prépondérante, c'est-à-dire quand le courant de la pile de ligne sera interrompu. Le problème de l'impression des lettres sous l'influence d'une ouverture de courant se trouve donc ainsi résolu [1]. On a, il est vrai, objecté à ce système qu'au moment des inversions du courant la ligne est dans un état bien voisin de celui dans lequel elle se trouve quand le courant est momentanément interrompu, et qu'il devrait, par conséquent, résulter de l'action seule du commutateur du manipulateur des impressions anomales assez fréquentes; mais l'expérience a démontré qu'il n'en était pas ainsi, car en tournant très-vite ou très-lentement le manipulateur de l'appareil de M. Dujardin, l'impression ne s'est jamais produite d'une manière inopportune. Cela vient sans doute de ce que l'action des ressorts R et R' ne peut jamais se produire assez rapidement pour que les contacts avec B et A' puissent s'effectuer avant l'action des courants contraires.

1. M. Reignard avait déjà indiqué une solution du même genre. (Voir notre tome IV, page 276.)

Dans le système de M. Dujardin, les récepteurs avec leurs relais doivent être interposés dans le circuit de ligne aux deux stations; il en résulte que, comme avec l'appareil Hughes, la dépêche s'imprime aux deux stations à la fois. L'inconvénient qu'on pourrait reprocher à cette disposition serait de nécessiter des piles d'une grande tension, car, chacun des systèmes électro-magnétiques ainsi interposés devant avoir environ de 150 à 200 kilomètres de résistance, on augmente la résistance de la ligne de près de 1000 kilomètres; il est vrai que M. Dujardin a pu réduire de près de moitié cette résistance en faisant fonctionner l'électro-aimant des récepteurs sous l'influence des relais eux-mêmes; mais cette disposition nouvelle n'a pas encore été essayée. Quoi qu'il en soit, l'appareil de M. Dujardin a pu fonctionner de manière à expédier trente dépêches de vingt mots par heure. C'est déjà un très-beau résultat.

Dans la nouvelle disposition adoptée par M. Dujardin, la bobine du mécanisme compositeur est munie de deux fils dont les extrémités aboutissent aux quatre contacts du relais A, B, A′, B′ (fig. 85), et leur liaison avec ces contacts est faite de telle manière que les extrémités 1 et 2 de l'une des hélices aboutissent aux contacts A et A′, et que les extrémités 3 et 4 de l'autre hélice correspondent aux contacts B et B′. Les contacts B et A′ sont d'ailleurs reliés à l'électro-aimant imprimeur, comme nous l'avons vu précédemment, et le courant de la pile locale est toujours conduit par les tiges oscillantes du relais. Or, voici ce qui résulte de cette nouvelle disposition :

Quand les deux tiges du relais oscillent parallèlement, elles envoient alternativement, dans les deux fils de la bobine du mécanisme compositeur, des courants qui peuvent réagir comme s'ils étaient alternativement renversés, et par conséquent produire les effets que nous avons précédemment analysés. Mais quand ces tiges sont soumises à l'action de

leur ressort antagoniste, ce qui suppose une interruption du courant de ligne, le courant de la pile locale qui animait l'électro-aimant du mécanisme compositeur se trouve transporté à travers l'électro-aimant du mécanisme imprimeur, et détermine l'impression comme à l'ordinaire.

Ainsi, quoique par sa disposition ce système exige une pile spéciale pour faire fonctionner le mécanisme compositeur, cette pile ne peut pas être regardée comme une complication et une dépense nouvelle, puisqu'elle n'est autre que celle du mécanisme imprimeur lui-même. D'ailleurs, cette pile peut être constituée par la pile de ligne de la station qui reçoit.

Télégraphe imprimeur de M. Thomson. — Ce télégraphe, quoique très-compliqué, fonctionne d'une manière très-satisfaisante et présente quelques combinaisons mécaniques vraiment ingénieuses. Pour qu'on puisse comprendre cet appareil intéressant, nous allons, en quelque sorte, le disséquer par parties.

Manipulateur. — Le manipulateur, qui est à clavier, ou plutôt à touches, se compose de trois mécanismes différents, d'un mécanisme d'horlogerie réglé par un échappement qui forme interrupteur, d'un mécanisme d'enclanchement et d'un mécanisme de déclanchement, lequel correspond aux diverses touches et à une pédale de remise à la croix, dont nous verrons plus tard l'importance.

Le mécanisme d'horlogerie consiste dans un mécanisme à quatre mobiles mû par un poids de 10 kilogrammes, et qui a pour effet de communiquer à la roue d'échappement E (fig. 12, pl. I) une vitesse suffisamment grande; pour que le départ de cette roue puisse se faire instantanément, elle est adaptée à un petit barillet B monté sur l'axe du dernier mobile. Le genre d'échappement de cette roue est particulier: il est constitué par des coches demi-circulaires, dans lesquelles viennent s'emboîter deux galets fixés sur l'ancre d'échappement au lieu et place des becs d'acier qui termi-

nent ordinairement les extrémités de cette pièce. Cette disposition a été adoptée en raison de la nécessité dans laquelle on se trouvait de maintenir l'ancre toujours en contact avec la roue pour les transmissions électriques. Cette ancre, en effet, constitue l'interrupteur de l'appareil au moyen d'un ressort R, oscillant entre deux vis V, V'. Pour régler la vitesse de l'échappement, un petit levier L a été adapté à cette ancre, et au moyen d'un poids P, que l'on fait glisser sur ce levier, on peut rendre plus ou moins prompts les mouvements de l'ancre elle-même. La pile correspond à l'une des branches de cette ancre : le fil de ligne aboutit à la borne V', et le récepteur à la borne V. Enfin, deux poulies de renvoi A et C conduisent la corde du premier mobile pour que la traction puisse se transmettre horizontalement.

Le mécanisme d'enclanchement se compose d'une roue à chevilles mobiles montée sur l'axe de la roue d'échappement E, et sur laquelle réagit un système de leviers que nous avons représenté fig. 86, page 394. La roue à chevilles n'est rien autre chose qu'une roue à rebord CC (fig. 87), sur laquelle on a évidé une rainure II, et qui porte trente chevilles mobiles dans le sens du rayon, et par conséquent susceptibles de dépasser le rebord CC pour s'avancer vers le centre S. Trois de ces chevilles sont indiquées au haut de la figure 87. Une couche de graisse déposée dans la rainure II empêche que ces chevilles ne cèdent à des actions mécaniques autres que celles qui doivent agir directement sur elles. Enfin, trente dents en cuivre, fixées sur la circonférence de la roue et alternant avec les chevilles, complètent cette partie du mécanisme.

Au-dessus de la roue à chevilles que nous venons de décrire, et suivant son diamètre, est adapté un triple système de leviers, dont l'un BD (fig. 86), pivotant en B, porte en C et en D une palette et une cheville sur lesquelles peuvent réagir les deux autres leviers EI et FG. Ce dernier n'est rien autre chose qu'une bascule qui, étant inclinée en G, soulève la che-

ville D, et par suite le levier DB. L'autre est aussi une bascule terminée à son extrémité I par un coude tombant verticalement et portant en ce point une cheville sur laquelle

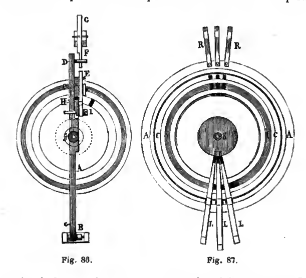


Fig. 86. Fig. 87.

appuie, de bas en haut, un ressort adapté à la palette CE. Ce ressort est destiné à relever cette bascule après qu'elle a été abaissée. Enfin une cheville H, munie d'un ressort à boudin, est adaptée au-dessous de la palette CE, pour servir de butoir d'arrêt, et le boudin a pour fonction de permettre au levier BD de s'abaisser et de se relever sans que cette cheville quitte sa position d'arrêt. Quant au levier BD, il porte en J, au-dessus des systèmes précédents, une pièce munie d'un pas de vis sur laquelle s'adapte une rondelle circulaire que nous avons indiquée en pointillé sur le dessin.

Si l'on suppose que l'une des chevilles de la roue à chevilles soit poussée vers le centre, cette roue, étant entraînée par le mouvement d'horlogerie (et aussi par le barillet de la roue d'échappement qui est montée sur le même axe), tournera

jusqu'à ce que la cheville avancée arrive en H ; mais rencontrant là un obstacle au passage de cette cheville, elle se trouvera arrêtée jusqu'à ce que l'on appuie sur la pédale FG. Alors celle-ci, en s'inclinant, soulèvera le levier BD, et, par l'intermédiaire de la palette CE, fera incliner la bascule EI, qui, à l'aide de son coude, repoussera la cheville dans son trou. La roue se trouvant alors libre continuera sa marche jusqu'à ce qu'une nouvelle cheville avancée se présente et provoque un nouvel arrêt.

Nous ferons toutefois remarquer que le jeu de la pédale FG n'est pas du tout une conséquence de la transmission électrique. Nous n'en avons parlé que pour faire comprendre le jeu du mécanisme d'enclanchement. Cette pédale n'a été établie que pour remettre l'appareil à la croix en cas de dérangement.

Le mécanisme de déclanchement qui correspond aux touches du clavier, et qui constitue le transmetteur proprement dit, consiste dans une circonférence ou bague métallique AA (fig. 87), dans laquelle a été pratiquée une rainure circulaire, et sur laquelle sont articulés trente leviers-bas-

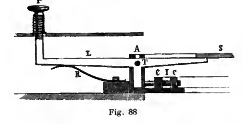


Fig. 88

cules LL, etc., de la forme représentée fig. 88, auxquels correspondent les différentes touches du manipulateur, et qui convergent tous vers le centre de la bague. Cette articulation de tous ces leviers est faite à l'aide d'un fil recourbé en cercle qui passe à travers un trou T pratiqué dans ces

différents leviers, et qu'on introduit dans la rainure AA. Les figures 87 et 88 représentent la disposition de quelques-uns de ces leviers; mais pour en comprendre le jeu, il faut savoir : 1° que la bague qui les porte emboîte la roue à chevilles de telle manière qu'à l'état de repos chacun des bras verticaux qui les terminent inférieurement se trouve placé vis-à-vis une cheville; 2° qu'une seconde bague armée de trente lames de ressort R emboîte à son tour l'autre bague de manière à maintenir toujours les touches soulevées à l'état normal; 3° que les bouts des leviers-bascules, réunis circulairement au-dessous du disque S de l'appareil d'enclanchement, peuvent réagir indistinctement sur cet appareil et produire par le soulèvement de ce disque le même effet que quand on abaisse la pédale GF (fig. 86).

Avec ces différents renseignements le jeu du manipulateur s'explique aisément : au moment où l'on abaisse une touche, le mécanisme d'enclanchement se trouve soulevé; la cheville avancée, qui avait provoqué l'arrêt de la roue des chevilles contre le butoir H (fig. 86), se trouve repoussée par le levier coudé E, et la roue tourne en faisant réagir l'interrupteur. Mais la touche qui a été abaissée tout en provoquant ce déclanchement a poussé, au moyen de son bras vertical, une nouvelle cheville qui, en rencontrant le butoir H du mécanisme d'enclanchement, entraîne un nouvel arrêt, et ainsi de suite pour les différentes touches abaissées; de sorte que les transmissions s'opèrent, avec ce système, comme dans les anciens manipulateurs à cadran mobile qu'on manœuvrait en faisant arriver les différentes lettres que l'on avait à transmettre devant un repère fixe. Nous ferons en même temps remarquer que, contrairement à ce qui se fait avec les autres manipulateurs à touches, il faut, avec celui dont nous parlons, n'appuyer qu'instantanément sur les touches.

Récepteur. — Le récepteur fonctionne sous l'influence de deux mouvements d'horlogerie, l'un à cinq mobiles, qui est

destiné à faire marcher le système imprimeur, et qui exige un poids de 35 kilogr.; l'autre qui doit faire marcher le système télégraphique proprement dit. Ce dernier mécanisme n'a que quatre mobiles; mais le dernier, qui porte la roue d'échappement, est muni de deux petits barillets destinés à rendre instantané le départ de cette roue et celui de la roue des types. Celle-ci, ainsi que tout le mécanisme imprimeur, est placée en dehors des platines de l'appareil, comme on le voit fig. 14, pl. I, tandis que tous les mécanismes moteurs sont montés entre deux platines, comme on le voit fig. 13, pl. I.

Sauf le petit barillet dont nous avons parlé, l'échappement de ce système télégraphique est exactement celui des télégraphes à cadran de M. Bréguet. La roue d'échappement est un rochet de quinze dents sur lequel réagit la fourchette A (fig. 13, pl. I), laquelle est mise en mouvement par une autre fourchette B, qui reçoit son mouvement de l'armature de l'électro-aimant par l'intermédiaire d'un levier passant par le trou T. Au-dessus de cette roue d'échappement se trouve une autre roue à rochet en acier de trente dents sur laquelle appuie un crochet d'encliquetage C, qui joue le rôle principal dans la détente du mécanisme imprimeur. En effet, cette pièce, par l'intermédiaire de l'axe vertical sur lequel elle est fixée, peut faire incliner une bascule CI portant deux bras articulés J et K, lesquels bras, en passant à travers une pièce rigide L, peuvent fournir un double arrêt au bec M de la détente du mécanisme imprimeur. Les extrémités de ces bras sont, à cet effet, taillés en biseau, et suivant que le crochet C se trouve entre deux dents ou sur une dent du rochet d'acier R, la tige K ou la tige J sort de la pièce L; mais, comme la force du mouvement d'horlogerie du mécanisme imprimeur doit être considérable, et que l'effort nécessité pour opérer le déclanchement pourrait être trop considérable eu égard à la puissance mécanique du rochet R, il a fallu user d'un artifice pour remédier à cet inconvénient.

Pour cela, M. Thomson a adapté au système précédent une tige NO munie d'un ressort à boudin et terminée en O par un butoir tombant verticalement. Cette tige peut tourner dans deux coussinets autour de son axe, et l'extrémité du boudin lui-même est disposée de manière à venir buter à l'état normal contre une tête de vis *r*. Le butoir O se trouve placé en avant du bout de la tige J, de sorte que tout l'effort produit par le bec M de la détente est supporté d'abord par ce butoir. Lorsque la détente doit se faire, les tiges K et J peuvent jouer facilement dans la pièce L, car le bec M est toujours soutenu par le butoir O, quoique arrêté d'abord par la tige J et en second lieu par la tige K; ce n'est que quand cette dernière est rentrée, que ce bec M entraîne le butoir O jusqu'à ce qu'il échappe, pour venir, après un tour accompli, retomber de nouveau sur ce même butoir O, qui reçoit tout le choc. Quant au cliquet C lui-même, il se trouve toujours sollicité à appuyer sur le rochet par un ressort-boudin *i* adapté à la bascule IC; mais, comme il est nécessaire que l'impression ne puisse se faire qu'après un temps d'arrêt suffisant de l'échappement, il a fallu encore adapter au cliquet C un

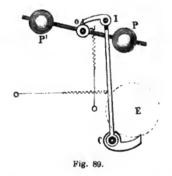


Fig. 89.

mécanisme retardateur. Celui qu'a choisi M. Thomson est un système de balancier PP′ (fig. 89), sur lequel réagit,

par l'intermédiaire d'une dent O et d'un levier IC, le crochet C. Quand ce crochet doit être soulevé, il peut librement accomplir ce mouvement; mais quand il doit retomber, il faut qu'il entraîne le balancier PP′, dont la force d'inertie s'oppose à un mouvement prompt.

Avec cette disposition, le jeu du système se comprend aisément. Sous l'influence des fermetures et ouvertures de courant transmises avec une certaine vitesse par le manipulateur, la roue d'échappement tourne et la roue à rochet R (fig. 13, pl. I) soulève le cliquet C; le bec M de la détente du mécanisme imprimeur vient buter contre la tige K, qui se trouve alors avancée. Tant que la vitesse de transmission est grande, le cliquet C ne tombe pas entre deux dents du rochet R, et le bec M reste en prise avec K; mais si un temps d'arrêt se produit dans l'échappement, il n'en est plus ainsi : le cliquet C, en tombant entre deux dents du rochet R, ramène la tige K, et le mécanisme imprimeur fait alors son office.

Le mécanisme imprimeur représenté fig. 14, pl. I, consiste essentiellement dans une excentrique E à quatre cames, montée sur l'axe de la roue H (qui entraîne, par l'intermédiaire d'un pignon, l'axe portant le bec M de la détente dont nous avons parlé plus haut, fig. 13), et qui réagit sur un marteau AB terminé en B par un galet et en A par un tampon en caoutchouc. Ce marteau, sollicité par un boudin en dehors de la roue des types, glisse dans une rainure pratiquée dans un double montant; de sorte qu'il ne peut appuyer contre cette roue que quand l'excentrique vient à tourner.

La roue des types ne diffère de la roue des types des autres télégraphes qu'en ce qu'elle est adaptée à un petit barillet destiné à la ramener au repère après chaque impression de lettre. A cet effet, elle porte une espèce de boîte d'engrenage composée de deux roues à dents de côté, s'em-

boîtant l'une dans l'autre, à la manière des clefs Bréguet; la roue de dessus, qui glisse sur l'axe de la roue d'échappement et qui communique le mouvement de celle-ci à la roue des types, porte une poulie sur la gorge de laquelle s'engage une fourchette destinée à la soulever. Le manche de cette fourchette est articulé en D, et s'engage par son extrémité libre sous un disque G adapté à l'excentrique E. Ce disque porte sur sa surface inférieure quatre dents à coin destinées à abaisser verticalement ce manche et à élever, par conséquent, la fourchette ainsi que la roue d'embrayage O, opération qui a lieu après chaque passage de came de l'excentrique E, c'est-à-dire après chaque impression de lettre; de cette action mécanique résulte le débrayement de la roue des types, et par suite sa mise au repère sous l'influence du barillet qui la sollicite. La pièce VN, contre laquelle vient buter une saillie U fixée sur la roue des types, sert précisément d'arrêt à cette roue après qu'elle a été débridée, et en même temps de pièce de sûreté pour que le débrayement de la roue des types puisse être maintenu jusqu'à la mise de cette roue au repère. A cet effet, le bras N du levier coudé VN, dont l'extrémité glisse sur la surface d'une petite poulie placée aussi sur l'axe de la roue d'échappement, peut, en passant par une coche au moment du soulèvement de la roue d'embrayage, s'engager dans la gorge de la poulie dont nous venons de parler et la maintenir soulevée. Il en résulte que cette roue d'embrayage ne peut retomber que quand la saillie U, en venant rencontrer le levier N, a pu refouler le bras N et le rejeter hors de la gorge de la poulie. Or, cet effet se manifeste précisément au moment de la mise au repère de la roue des types; et comme de cet arrêt brusque pourrait résulter une certaine oscillation de cette roue, un cliquet de sûreté V, analogue à ceux employés dans l'horlogerie électrique, a été adapté au bras N. Ce cliquet, se trouvant en effet abaissé au moment même où le bras N est repoussé,

vient s'engager entre deux des crans de la roue R et en arrête le mouvement, soit en avant, soit en arrière.

Le mécanisme destiné à entraîner la bande de papier consiste dans un rouleau C, muni sur sa circonférence de pointes fines qui peuvent entrer dans deux rainures pratiquées dans un galet H, appuyé contre le rouleau C. La bande de papier passe entre ces deux cylindres et se trouve conduite entre le marteau imprimeur et la roue des types par deux guides I, J. Une pièce K la détache du rouleau à pointes, et le mouvement de celui-ci est commandé par un encliquetage à croix de Malte, que l'on voit figuré en Q (fig. 13), et qui échappe d'un cran au moment de chaque impression.

Du reste, l'impression des types, contrairement à ce qui se passe dans la plupart des autres télégraphes imprimeurs, s'effectue par l'intermédiaire d'une bande de papier plombaginée appliquée sur la bande de papier blanc.

Comme de la transmission trop prompte d'une dépêche il pourrait résulter que deux ou plusieurs chevilles de la roue à chevilles du manipulateur seraient poussées à la fois, ce qui entraverait inévitablement la marche de l'appareil, il est essentiel de pouvoir replacer le transmetteur à la croix; et c'est à cet effet qu'a été adaptée la pédale GF (fig. 86), que nous avons décrite page 395, et à laquelle correspond une touche particulière; en appuyant sur cette pédale, on fait rentrer successivement les chevilles qui sont en trop jusqu'à ce que celle de la touche correspondante à la croix vienne arrêter définitivement l'appareil.

Les touches du manipulateur placées en dehors de l'appareil sont au nombre de trente, disposées dans un ordre particulier, et tel que les lettres qui se répètent le plus souvent correspondent aux transmissions les plus simples et les plus promptes. Comme ces télégraphes sont destinés à l'Angleterre, cet ordre a été combiné d'après la langue anglaise, et il a été établi de la manière suivante :

1° Pédale; 2° Séparation de mots; 3° E, I, T, A, O, N, S, D, C, R, L, M, X, V, B, F, G, H, etc., P, W, J, K, U, Y, Q, Z, +

Les deux appareils transmetteur et récepteur sont, du reste, disposés horizontalement dans une même boîte à peu près carrée, et il n'apparaît à l'extérieur que le mécanisme imprimeur représenté fig. 14, pl. I, et les trente touches dont nous avons parlé et qui sont disposées sur deux circonférences concentriques alternant de l'une à l'autre.

Pour être juste, nous devons dire que cet appareil doit à son constructeur, M. Bréguet, un grand nombre des perfectionnements mécaniques que nous avons décrits.

Télégraphe imprimeur de M. d'Arlincourt. — Ce système, d'une conception très-ingénieuse, présente l'avantage : 1° de faire fonctionner les deux récepteurs des stations en correspondance d'une manière parfaitement synchrone, quoique sous l'influence de deux courants distincts; 2° de permettre à la station de réception l'arrêt des deux appareils; 3° de décharger la ligne après chaque émission de courant.

Dans ce système, qui se rapproche un peu, quant à la disposition, de ceux de MM. Thomson, Siemens, etc., le manipulateur, le récepteur et le mécanisme imprimeur sont réunis dans le même instrument et sont tous dépendants les uns des autres. Le manipulateur, qui est un transmetteur à touches circulaire, est superposé au récepteur et fonctionne sous l'influence du mécanisme d'horlogerie qui met en action ce dernier; et le mécanisme imprimeur, ayant un mécanisme d'horlogerie à part, est disposé de manière à présenter les organes imprimeurs en dehors de l'appareil, sur un plan vertical, comme dans le système Morse.

La pièce importante de cet appareil est un axe vertical SP (fig. 90 ci-contre), qui constitue le cinquième mobile du premier mécanisme d'horlogerie et qui porte : 1° un doigt horizontal O, sur lequel réagissent les différentes touches

du manipulateur pour en provoquer l'arrêt; 2° une roue d'angle L, destinée à transmettre le mouvement du mécanisme d'horlogerie à un arbre horizontal X (fig. 91), sur lequel sont adaptées la roue d'échappement J et la roue des types V; 3° un commutateur composé de deux roues dentées A et B (fig. 90) et d'un disque C, sur lesquels appuient

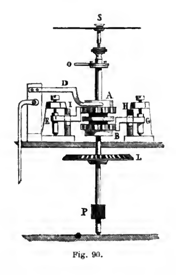


Fig. 90.

trois leviers frotteurs D, E, G. Ce commutateur a pour fonction de fournir en temps opportun les émissions de courant à travers la ligne, de dériver un autre courant à travers l'électro-aimant du récepteur de l'appareil, et de décharger la ligne.

Le jeu de cet axe est commandé, bien entendu, par la roue d'échappement J (fig 91), dont nous avons parlé précédemment, et le jeu de cette roue est lui-même commandé par un électro-aimant M, dont l'hélice est en communication, d'un côté avec la terre, d'autre part avec un système de double

levier basculant N, que nous appellerons bascule de déclanchement, et qui est mis en rapport électrique avec le commutateur dont il a été question par l'intermédiaire de deux petites colonnes, moitié cuivre, moitié ivoire, H et I. Cette

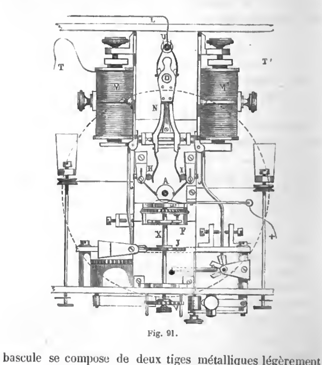


Fig. 91.

bascule se compose de deux tiges métalliques légèrement arquées, montées sur un axe horizontal commun, et terminées à leurs extrémités par des lames de ressort qui sont convergentes d'un côté et divergentes de l'autre côté. Ces dernières appuient contre les colonnes, moitié cuivre, moitié ivoire, H et I, dont il vient d'être question, et les autres contre une colonne unique U, également moitié cuivre, moitié ivoire, dont la partie métallique isolée communique avec

la ligne. Enfin une plaque en ivoire réunit les deux tiges métalliques de la bascule de manière à former une large touche sur laquelle peut agir un piston pour faire basculer le système.

La pile de ligne est disposée de manière à fournir deux courants, d'abord un courant de pile de ligne qui résulte de tous les éléments (je suppose un nombre de 35), et en second lieu un autre courant provenant d'une partie de ces mêmes éléments (de 10, par exemple). Le premier courant aboutira au ressort D du commutateur (fig. 90), le second à la roue B par l'axe qui la porte. On remarquera que les dents des deux roues A et B, qui se correspondent d'ailleurs exactement, et qui ne diffèrent que par leur épaisseur, plus grande dans la roue B que dans la roue A, font saillie par rapport à la circonférence du disque C; de sorte que quand les leviers frotteurs E, G, appuient sur les dents, ils ne peuvent rencontrer, par leur extrémité recourbée, le disque C; mais ceci a précisément lieu quand ils se trouvent dans un intervalle de dents.

Or, voici ce qui résultera de l'abaissement de la bascule de déclanchement dont nous avons parlé: les ressorts divergents toucheront la partie métallique des colonnes H, I, et, les ressorts G et E appuyant sur les dents des roues A et B, le courant de ligne sera transmis à travers la ligne par le levier de droite de la bascule, tandis que le courant dérivé sera transmis à l'électro-aimant M de l'appareil par le levier de gauche. Cet électro-aimant étant actif déterminera un échappement qui fera tourner le commutateur, et permettra aux frotteurs E, G de s'abaisser et de se mettre en contact avec le disque C. Dès lors le courant sera coupé à la fois à travers la ligne et l'électro-aimant, et une communication sera établie entre la terre et la ligne par le disque C et par l'électro-aimant M, lequel se trouvera ainsi complétement démagnétisé par le courant de décharge. Sous l'influence de cette déma-

gnétisation, les dents du commutateur se trouveront mises de nouveau en contact avec les frotteurs E et G, et les effets précédents se renouvelleront de la même manière, tant que la bascule de déclanchement restera abaissée. Par suite de ces réactions, les roues des types des deux appareils se trouveront donc mises en mouvement continu, et leur arrêt dépendra uniquement du relèvement de la bascule de déclanchement, qui coupera les deux courants à travers le commutateur. Maintenant, on comprendra facilement qu'on pourra arrêter les deux appareils en agissant à la station même qui reçoit, et pour cela il suffira d'envoyer sur la ligne un courant continu. Il résultera, en effet, de cette émission que quand le commutateur de l'appareil du poste expéditionnaire sera placé de manière à fournir la décharge de la ligne, ce qui a lieu, comme nous l'avons vu, après chaque émission de courant, le courant envoyé de la station qui reçoit passera à travers l'électro-aimant commandant le jeu de ce commutateur, précisément quand il devrait être interrompu. Dès lors celui-ci ne pourra plus réagir, et les appareils seront arrêtés.

Le mécanisme imprimeur n'a rien de particulier quant à son principe, mais la disposition des divers organes qui sont en jeu diffère un peu de celle qui est habituellement employée. Cette différence existe surtout dans le système d'encliquetage du laminoir destiné à entraîner la bande de papier et le système d'excentrique appelé à produire l'impression, qui se compose d'une roue à trois cames. Cette roue est montée sur l'axe du troisième mobile du second mécanisme d'horlogerie, dont le jeu est commandé par une fourchette d'encliquetage et un disque muni de trois systèmes de chevilles d'arrêt. Cette fourchette elle-même est mise en action par un électro-aimant M' (fig. 91), qui fonctionne sous l'influence d'une pile locale dont le courant est fermé et interrompu par le levier de l'électro-aimant M du récepteur.

Quand ces ouvertures et fermetures de courant sont très-rapprochées, comme cela arrive quand la bascule de déclanchement du récepteur est abaissée, l'aimantation de l'électro-aimant imprimeur n'a pas le temps de se faire et aucune impression n'est produite; mais quand l'interruption du courant au récepteur dure un temps convenable, le mécanisme imprimeur est déclanché et les choses se passent comme dans les autres télégraphes.

Le manipulateur de l'appareil en question n'a d'autre action à produire que d'arrêter en divers points de sa course correspondant aux différentes lettres de l'alphabet le doigt O (fig. 90), monté sur l'axe du commutateur, et de faire abaisser en même temps la bascule de déclanchement. A cet effet les touches du manipulateur correspondent à des bascules rangées circulairement autour de l'axe du commutateur, et ces bascules, étant abaissées individuellement, ont pour effet : 1° de présenter devant le doigt O en mouvement un obstacle rigide ; 2° de soulever en même temps un anneau qui les couvre toutes et qui correspond, par un levier articulé, à un piston appuyant sur la grande bascule de déclanchement N.

Le mérite du système télégraphique de M. d'Arlincourt est de fournir les avantages des récepteurs intercalés dans le même circuit, sans en présenter les inconvénients. Fonctionnant en effet avec un circuit dérivé relativement faible, le récepteur du poste expéditeur peut marcher avec une intensité électrique égale à celle qui le fait agir quand il fonctionne pour la réception ; ce qui ne peut avoir lieu avec les autres dispositions télégraphiques. Il diminue d'ailleurs la résistance de la ligne de 200 kilomètres, et la décharge après chaque émission de courant. Ce télégraphe, admirablement construit par M. Bréguet, qui sait toujours apporter aux inventions dont on lui confie l'exécution d'importants perfectionnements, a été essayé avec succès à l'adminis-

tration des lignes télégraphiques entre Paris et Rouen.

Nous avons oublié de dire que cet appareil peut servir en même temps de télégraphe à cadran, car une aiguille adaptée à l'axe du commutateur se meut en même temps que lui autour d'un cadran placé au centre du clavier circulaire.

Il est encore un détail de construction dans le télégraphe de M. d'Arlincourt qui ne laisse pas que d'avoir une certaine importance au point de vue du bon fonctionnement de l'appareil : c'est l'introduction d'une pièce F (fig. 91) comme organe de transmission de mouvement entre l'axe vertical du commutateur et l'axe horizontal de la roue d'échappement. Cette pièce est un bras d'acier à l'extrémité duquel se trouve percée une petite rainure qui laisse passer une cheville adaptée à la roue de transmission. Un ressort, appuyant sur cette cheville, la maintient, en temps ordinaire, à une extrémité de cette petite rainure; mais l'axe vertical, en tournant, peut forcer ce ressort et reporter la cheville du côté opposé de la rainure. Il résulte de cette disposition qu'avant chaque échappement la cheville est repoussée contrairement au ressort, mais que, pendant le dégagement de la roue à rochet J, elle se trouve reportée du côté opposé, ce qui retarde l'échappement par rapport au mouvement du commutateur. De cette manière, le contact des ressorts E et G avec les dents de ce commutateur se trouve parfaitement assuré et toujours effectué en temps opportun.

Télégraphe imprimeur de MM. Digney. — Nous avons déjà donné, dans le tome III de notre ouvrage (page 437), une description très-sommaire de cet intéressant appareil, qui est fondé sur le même principe que celui que j'avais imaginé en 1854. Mais cette description étant par trop concise, je crois utile de revenir un peu sur ce télégraphe, d'autant plus que MM. Digney, lui ayant appliqué dernièrement l'électro-aimant de M. Siemens, l'a rendu susceptible de fonctionner sans réglage. Voici un extrait du rapport que j'ai fait

en 1859 à la Société d'encouragement sur cet appareil :

« Le système imprimeur de MM. Digney a été combiné de manière à s'adapter aux télégraphes à cadran actuellement en usage sur les chemins de fer, sans nécessiter pour son installation aucun changement dans leur mécanisme déjà existant et dans leur disposition ; ce qui est un grand avantage, puisque la manipulation de ces télégraphes n'exige plus dès lors une étude particulière.

« Le récepteur du télégraphe à cadran des chemins de fer se compose, comme on le sait, d'un mouvement d'horlogerie à cinq mobiles, dont le dernier porte une roue d'échappement que commande, par l'intermédiaire d'une ancre et d'un levier muni d'une armature de fer doux, un électro-aimant. C'est sur l'axe de cette roue d'échappement que se trouve fixée l'aiguille indicatrice. Tout le mécanisme d'horlogerie est, d'ailleurs, monté entre deux platines verticales de cuivre, terminées par une plate-forme sur laquelle se trouve installé l'électro-aimant, dont les fers peuvent être avancés plus ou moins près de l'armature au moyen d'une vis de rappel qui les fait glisser dans les bobines. Dans le télégraphe de MM. Digney, même disposition, seulement le mécanisme imprimeur est en plus, et il est placé en dehors de l'une des platines servant de supports à l'appareil, comme on le voit fig. 92, page 410. Ce dernier mécanisme est donc entièrement indépendant du récepteur télégraphique, et celui-ci ne diffère de celui des télégraphes ordinaires qu'en ce que, au lieu d'un échappement à treize dents, il y a un échappement de vingt-six dents, et que, au lieu d'un électro-aimant ordinaire à deux bobines, on a employé deux électro-aimants droits, accouplés par leurs pôles contraires et reliés ensemble par une traverse de cuivre. Ces changements étaient commandés, d'une part, parce que, l'impression des lettres ne pouvant se faire que sur une ouverture ou une fermeture du courant, il fallait que les lettres arrivassent au repère dans les mêmes

conditions; d'autre part, parce qu'un système double d'électro-aimants droits, présentant quatre pôles libres, pouvait produire deux effets magnétiques différents, condition néces-

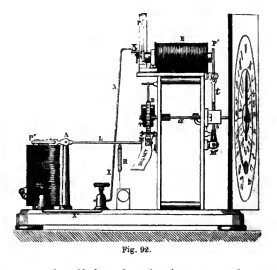


Fig. 92.

saire pour le jeu distinct du mécanisme compositeur et du mécanisme imprimeur.

« Pour obtenir ce dernier résultat, il suffisait, en effet, de placer aux deux extrémités de ce système magnétique deux armatures aimantées P et P′ disposées d'une manière diamétralement opposée, par rapport aux pôles de l'électro-aimant, et gouvernant, l'une P′ l'échappement du télégraphe, l'autre P le mécanisme imprimeur. Toutefois, par une raison de simplification de construction qu'il est facile d'apprécier, MM. Digney ont fait en sorte que cette dernière fonction ne se fît pas directement; de sorte que l'armature appelée à réagir sur le mécanisme imprimeur ne joue, par le fait, que le rôle d'un relais pour fermer le courant d'une pile locale à travers un électro-aimant spécial E′ dont nous allons voir le rôle. Avant

de décrire cette partie du mécanisme, je dois faire remarquer que la disposition des armatures, dans l'appareil de MM. Digney, est tout à fait particulière. Au lieu d'être mises en jeu par attraction, elles ne fonctionnent que sous l'influence de la répulsion, d'où il résulte que leur ressort antagoniste, au lieu de réagir contrairement à la force électro-magnétique, réagit dans le même sens qu'elle et tend à détruire la réaction trop énergique de l'armature sur l'électro-aimant, réaction qui provoque le rappel de cette armature à sa position initiale lorsque le courant est interrompu. Cette disposition d'armature et d'électro-aimant présente cet avantage que toute la force magnétique développée par l'hélice magnétisante (dont la longueur est une quantité donnée) est utilisée intégralement et concentrée sur le même fer d'électro-aimant, de manière à lui faire produire deux effets différents; or, ceci n'a pas lieu quand on emploie, dans ce but, deux électro-aimants distincts en communication l'un avec l'autre. La force de l'électro-aimant, d'ailleurs, n'est pas diminuée, car ces armatures, en réagissant sur les pôles de celui-ci, se comportent à tour de rôle comme le ferait la traverse de fer qui réunit les deux branches des électro-aimants en fer à cheval ordinairement employés.

« Le mécanisme imprimeur, dans l'appareil de MM. Digney, se compose : 1° d'une roue des types D montée sur l'axe même qui porte la roue d'échappement N, et qui se prolonge, à cet effet, au delà de la platine interne de l'appareil; 2° d'un tampon T imprégné d'encre grasse, adapté à l'extrémité d'une fourchette articulée, et appuyant de son propre poids sur la roue des types; 3° d'un système de laminoir pour la traction de la bande de papier, lequel est composé de deux rouleaux, dont l'un, le supérieur, est placé à l'extrémité d'un petit châssis articulé muni d'un contre-poids, et dont l'autre porte sur son axe deux roues à rochet destinées à le faire mouvoir; 4° d'un électro-aimant imprimeur E′, qui réagit

sur une bascule d'encliquetage P″L (avec cliquets de sûreté), appelée à faire mouvoir les roues à rochet du laminoir. Ces différents organes, très-bien entendus dans leur disposition, prennent très-peu de place et donnent toute facilité pour le maniement de la bande de papier qui s'imprime.

« Le jeu de cet appareil se comprend aisément : Sous l'influence du courant dirigé dans un certain sens, la roue des types est mise en mouvement, et la lettre indiquée par l'aiguille du télégraphe se trouve amenée devant le marteau de l'électro-aimant imprimeur; mais en ce moment, et cela par l'effet d'un jeu du manipulateur que nous allons analyser à l'instant, le courant se trouve renversé; l'armature relais entre en fonction et ferme le courant de la pile locale à travers l'électro-aimant imprimeur; l'armature de celui-ci porte la bande de papier, qui passe au-dessous de la roue des types contre celle des lettres (dont est munie cette roue), qui est placée en ce moment en face d'elle. Cette lettre s'imprime, et, lorsque le levier redescend, il réagit sur la bascule d'encliquetage qui fait avancer d'un cran les roues à rochet du laminoir et, par suite, la bande de papier.

« Le manipulateur du télégraphe de MM. Digney, représenté fig. 93, est exactement le même que celui des télégraphes à cadran des chemins de fer; seulement le nombre des fermetures du courant qu'il produit est double de celui des manipulateurs ordinaires, et comme il doit fournir des inversions de courant, plusieurs pièces accessoires ont dû lui être ajoutées. Sans nous arrêter à ces accessoires, qu'il serait trop long de décrire, je dirai que tous les mouvements du levier interrupteur produits par la rotation de la manivelle sur le cadran ont pour résultat deux contacts, dont l'un, celui qui correspond à la position de la manivelle sur la lettre, réalise l'inversion du courant à travers ce même récepteur, quand toutefois la manivelle se trouve abaissée sur le cadran; encore faut-il, pour cela, que la dent dont elle est munie s'enfonce

dans l'une ou l'autre des coches du diviseur qui correspondent aux différentes lettres de ce cadran. Quand cet abaissement n'a pas lieu, l'inversion ne s'effectue pas, et par conséquent aucune impression n'est produite au récepteur. Il ne s'agit donc, pour faire manœuvrer cet appareil, que de

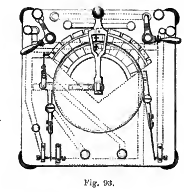


Fig. 93.

promener la manivelle au-dessus du cadran quand on cherche la lettre, en ayant soin de la maintenir un peu élevée, et de l'abaisser, au moment où elle est arrivée devant la lettre. Cette manœuvre, du reste, ne diffère en rien de celle des télégraphes ordinaires. D'un autre côté, comme la dent de cette manivelle est munie d'une plaque d'ivoire, le degré d'élévation de cette manivelle au-dessus du cadran est sans importance pour le fonctionnement régulier de l'appareil. La simplicité de construction de ce manipulateur, et la manière ingénieuse dont MM. Digney ont utilisé, à la réalisation de l'inversion du courant, les différents mouvements nécessités par la manœuvre ordinaire des télégraphes, ont été fort appréciées par la commission. »

Nouveau télégraphe imprimeur de MM. Digney. — Pour rendre l'appareil précédent susceptible de fonctionner sans réglage, MM. Digney ont adapté au récepteur l'électro-aimant

de M. Siemens, que nous avons si souvent décrit, et ont employé pour manipulateur celui de leur télégraphe sans réglage dont nous avons parlé page 267. Avec ce système, l'impression ne peut plus se produire sous l'influence d'un renversement de sens du courant; mais au moyen d'un relais disposé toujours d'après le système de M. Siemens et à travers lequel le courant de ligne peut se dériver une fois que l'armature de l'électro-aimant du récepteur se trouve attirée (soit d'un côté, soit de l'autre), le problème peut se trouver résolu. Il résulte en effet de cette disposition que le courant qui anime l'électro-aimant du relais est d'une durée beaucoup plus courte que celui qui anime l'électro-aimant du récepteur, et de plus il est infiniment plus faible; il arrivera donc que, quand les émissions de courant se succéderont rapidement dans celui-ci, le relais ne pourra pas fonctionner, et que le contact appelé à fermer le courant de la pile locale à travers l'électro-aimant imprimeur ne pourra être dans les conditions voulues que quand l'armature de l'électro-aimant du récepteur s'arrêtera pendant quelques instants, c'est-à-dire au moment où la lettre signalée devra être imprimée.

Télégraphe imprimeur de MM. Desgoffes et Digney. — Ce télégraphe, comme celui de MM. Hughes, Donnier, Theiler, Waïl, etc., est fondé sur la marche synchronique des appareils en correspondance. Nous avons vu quelles difficultés on avait rencontrées pour obtenir mécaniquement cette marche synchronique, et quelles complications la solution de ce problème avait entraînées. Frappé de ces inconvénients, M. Desgoffes a cherché à résoudre la question d'une autre manière, en faisant intervenir l'action électrique elle-même comme organe régulateur du synchronisme. A cet effet, les mécanismes moteurs des deux appareils en correspondance sont soumis à l'action de deux électro-aimants interposés dans le circuit de ligne, lesquels sont animés par les courants des deux piles disposées de manière à former batterie. Cette

action s'effectue par l'intermédiaire d'un système de rhéotome placé en dehors de l'une des platines de l'appareil, et com-

Fig. 94.

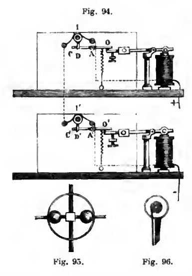


Fig. 95. Fig. 96.

posé d'un doigt D (fig. 94) adapté à l'axe de la roue des types, lequel doigt vient buter, à chaque tour de celle-ci, contre une cheville C portée par une bascule horizontale OC. Cette bascule, sollicitée par un ressort antagoniste, tend toujours à maintenir soulevée la cheville en question, mais elle peut être commandée en sens contraire par la tige portant l'armature de l'électro-aimant régulateur, et alors le mécanisme moteur se trouve dégagé; toutefois cet électro-aimant régulateur n'est animé que quand, par suite du contact de la cheville avec le doigt D dont nous avons parlé, le circuit de ligne se trouve complété, et encore faut-il que ce contact s'effectue en même temps dans les deux appareils, sinon le mouvement de la roue des types de l'appareil qui marche le plus vite se trouve arrêté jusqu'à ce que les deux contacts

s'effectuent dans le même moment. C'est précisément cette solidarité entre les deux appareils qui résout la question du synchronisme, car de cette manière le retard ou l'avance de l'un des appareils sur l'autre se trouve sans cesse corrigé à chaque tour de la roue des types. L'expérience ayant démontré que, pour obtenir dans ces conditions de bons contacts, il fallait que le doigt lui-même constituât l'interrupteur, M. Desgoffes a composé ce doigt de deux parties isolées l'une de l'autre, d'une longue dent rigide et d'un ressort flexible placé devant elle. (Voir fig. 96.) Ces deux pièces communiquent à deux bagues métalliques isolées fixées également sur l'axe I de la roue des types, et deux ressorts appuyant sur ces bagues mettent en relation avec cet interrupteur le fil de ligne et l'électro-aimant régulateur avec lequel communique la pile. On comprend facilement qu'avec cette disposition, chaque fois que le doigt rencontre la cheville butoir, les deux parties qui le constituent se touchent et fournissent le contact exigé.

Les autres parties de l'appareil n'ont rien de particulier quant à leur principe. Par sa forme, le récepteur ressemble assez à un Morse. Le mécanisme d'horlogerie, régularisé par un régulateur à force centrifuge d'une forme particulière que nous représentons fig. 95, est adapté entre les deux platines. En dehors de l'une de ces platines, se trouve le mécanisme régulateur dont nous venons de parler. En dehors de l'autre est adapté le mécanisme imprimeur, qui se compose d'une roue d'arrêt, d'une roue des types et d'un système de laminoir mû par un encliquetage adapté au levier de l'électro-aimant imprimeur. Cette roue d'arrêt présente cependant une particularité : c'est un petit barillet qui est fixé sur elle et qui la rend susceptible, après chaque impression, de faire regagner à la roue des types (montée sur le même axe qu'elle) le temps perdu. Cette roue d'arrêt porte, du reste, des dents pointues, et la pièce qui produit l'arrêt est

une tige à étoile qui se meut dans une coulisse verticale (adaptée à la platine), sous l'influence du levier de l'électro-aimant imprimeur et d'un ressort antagoniste. Ce ressort est combiné de manière à maintenir cette roue arrêtée un temps suffisant pour que les diverses fonctions de l'impression aient le temps de s'accomplir avant la remise en liberté de la roue des types.

Le levier de l'armature de l'électro-aimant, ayant trois fonctions à remplir : 1° celle de l'arrêt de la roue des types, 2° celle de l'impression, 3° celle de l'avancement du papier nécessite une certaine force, et exige par conséquent la présence d'un relais.

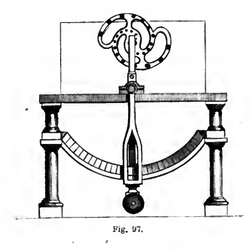


Fig. 97.

La partie de ce télégraphe la plus particulière est le manipulateur que nous représentons fig. 97, et qui se trouve adapté au récepteur, afin que son jeu soit solidaire de celui de cette partie de l'appareil. Il consiste d'abord dans une plaque d'aluminium découpée de manière à fournir deux spirales en limaçon, situées en sens inverse l'une de l'autre,

et portant chacune, échelonnées les unes à la suite des autres, treize saillies métalliques. Cette plaque est fixée par le centre commun aux deux spirales sur l'axe de la roue des types (en avant de celle-ci), et au devant d'elle se meut, comme un pendule, une bascule verticale terminée supérieurement par un ressort frotteur, et inférieurement par une poignée. Une fenêtre, adaptée à cette bascule un peu au-dessus de la poignée, se meut avec elle devant un arc métallique sur lequel sont gravées, à gauche et à droite de la verticale, les différentes lettres de l'alphabet. Celles-ci sont disposées dans l'ordre suivant :

B F G H J K C D L N A E + | réception |
blanc | I O U R S T M P Q V X Y Z

c'est-à-dire dans un ordre tel que les lettres qui se répètent le plus souvent sont les plus rapprochées de la verticale, soit d'un côté, soit de l'autre.

Les saillies du disque d'aluminium sont disposées de telle manière que la bascule étant inclinée à gauche ou à droite devant l'une ou l'autre des différentes lettres de l'alphabet, il y ait un contact opéré avec le ressort frotteur terminant la bascule, et ce contact, en déterminant l'action de l'électro-aimant imprimeur, provoque l'impression de celle des lettres de la roue des types qui correspond, par sa position, à celle indiquée par la bascule.

Cette disposition du manipulateur a été suggérée par l'incommodité si souvent constatée de bien placer la manette du manipulateur à cadran devant les différentes lettres de la moitié gauche du cadran. Avec le système que nous venons de décrire, on ne court jamais risque de cacher les lettres de l'indicateur avec la bascule ou avec la main.

Le courant de ligne devant, avec l'appareil précédent, faire agir deux électro-aimants ayant des fonctions différentes à remplir, il était important que l'action produite sur l'élec-

tro-aimant régulateur ne pût s'effectuer en même temps que celle déterminant l'impression. A cet effet, le circuit a été bifurqué avant sa communication avec le relais, et l'action de l'électro-aimant régulateur ne s'effectue que quand la roue des types est dans une position telle qu'elle ne peut imprimer aucune lettre : cette position est celle qui correspond à la bascule placée sur le signe de la réception. Dans ce cas, il ne peut y avoir aucun contact produit sur le disque d'aluminium.

Inutile de dire que le déclanchement du mécanisme moteur est automatique avec cet appareil, puisqu'il dépend essentiellement du mécanisme régulateur. Seulement, quand on veut l'arrêter, il suffit de couper, à l'aide d'un interrupteur, le circuit de la ligne, précisément au point de la bifurcation.

Télégraphe imprimeur de M. Rousse.—Ce télégraphe, comme le précédent, a la disposition d'un Morse ordinaire, mais il fonctionne par échappement. A cet effet, une roue à rochet de treize dents est fixée sur l'avant-dernier mobile ; mais contrairement aux dispositions ordinaires, l'axe de cette roue ne porte pas la roue des types. Celle-ci est fixée sur un axe particulier qui reçoit son mouvement par l'intermédiaire d'une roue engrenant avec une autre roue d'égal diamètre et d'assez grande épaisseur, fixée sur l'axe de la roue d'échappement. C'est pour pouvoir ramener facilement la roue des types au repère que cette disposition a été adoptée. Effectivement, par ce moyen, il suffit de pousser un peu l'axe de cette roue d'échappement à l'aide d'une pédale, pour que l'effet en question soit réalisé; car alors la roue à rochet peut se trouver dégagée de son encliquetage, et comme la roue qui communique le mouvement à la roue des types est épaisse, celle-ci ne cesse pas pour cela d'être engrenée.

Le système électro-magnétique qui produit l'échappement est le système sans réglage que j'ai imaginé et que nous

avons décrit page 199; mais il constitue en même temps un interrupteur du courant de la pile locale destiné à faire fonctionner le mécanisme imprimeur. Celui-ci consiste d'ailleurs dans un mécanisme analogue à celui dont nous avons précédemment parlé; c'est un électro-aimant dont le levier portant l'armature pousse un tampon élastique contre la roue des types, et a pour effet secondaire de faire avancer, après chaque impression, la bande de papier conduite par un laminoir. En outre de cette double fonction, ce levier a encore pour effet de faire réagir un rhéotome disjoncteur disposé de manière à couper le circuit de la pile locale immédiatement après l'impression de la lettre, c'est-à-dire aussitôt que l'électro-aimant devient inerte. De cette manière, l'action mécanique de l'impression est nettement produite et se trouve indépendante des circonstances extérieures. Pour refermer le circuit après qu'il a été ainsi ouvert, une roue à cames a été adaptée à l'axe de la roue des types, et les cames de cette roue réagissent sur le rhéotome en sens inverse du levier. Voici maintenant comment le jeu du mécanisme imprimeur se trouve déterminé.

Le courant de la pile locale qui doit animer l'électro-aimant imprimeur passe, comme on l'a vu, par le levier de l'électro-aimant commandant l'échappement et son butoir d'arrêt; mais il passe en outre par l'encliquetage et la roue d'échappement elle-même. Il en résulte que pendant la transmission il se produit une série de fermetures de courant qui, en raison de leur courte durée, ne peuvent faire fonctionner l'électro-aimant imprimeur; mais lors de chaque arrêt momentané de la roue d'échappement, cette fermeture devient assez longue pour que l'électro-aimant imprimeur puisse agir, et celui-ci est mis en action ainsi qu'on l'a vu précédemment. En définitive, ce système d'impression, comme celui de MM. Siemens, Bréguet, etc., est fondé sur la paresse des électro-aimants imprimeurs.

Le manipulateur de l'appareil de M. Rousse est à clavier circulaire, comme ceux de MM. Siemens, Renoir, Bréguet, Wheatstone et autres, et n'offre d'ailleurs rien de particulier.

Télégraphe imprimeur de M. Giordano. — M. Giordano, ancien interprète du génie militaire français à Constantinople, a construit dernièrement un télégraphe imprimeur, qui, comme ceux de MM. Dujardin et Digney, fonctionne avec des courants alternativement renversés. La disposition du récepteur, quant à sa forme, se rapproche de celle du télégraphe Morse: mais elle n'offre rien de particulier quant aux effets mécaniques produits. C'est toujours un mécanisme d'horlogerie qui met en mouvement une roue des types en aluminium, sous l'influence d'un échappement commandé par un système électro-magnétique analogue à celui du père Cecchi, et c'est un second électro-aimant réagissant sur un mécanisme d'horlogerie particulier qui fournit les impressions, sous l'influence du courant transmis.

Le manipulateur, comme ceux de MM. Digney, Dujardin, etc., n'est autre chose qu'un manipulateur de télégraphe à cadran ordinaire, disposé de manière à transmettre des courants alternativement renversés, quand on promène la manivelle d'une lettre à l'autre, mais qui est susceptible de fournir le renforcement du courant transmis, par l'addition du courant d'une seconde pile, quand on abaisse la manivelle. Pour obtenir ce résultat, qui ne laisse pas que d'être assez difficile à réaliser, en raison du sens variable des courants envoyés, M. Giordano a adapté au noyau portant la manivelle, deux contacts métalliques en rapport, l'un l'inférieur, avec le pôle positif de la pile de ligne (qui doit être plus forte que les piles ordinaires), l'autre, avec celle des lames positives des éléments de cette pile, qui divise celle-ci en deux parties à peu près égales. Une bascule adaptée au levier de la manivelle, et qui est presque en contact, par l'une de ses extrémités,

avec le cadran du manipulateur, porte à son autre extrémité, une lame de ressort susceptible de frotter sur les deux contacts dont nous venons de parler, mais qui en temps ordinaire, n'appuie que sur le contact supérieur, c'est-à-dire sur le contact correspondant à la pile réduite de moitié. Or, le courant de cette pile, en passant par ce frotteur, se trouve transmis à deux leviers basculants, conduits par la rainure sinueuse du manipulateur, et ceux-ci, comme dans le système Digney (voir page 267), peuvent le renverser, à chaque mouvement de la manivelle d'une lettre à l'autre. De cette manière la roue des types du récepteur est mise en mouvement. Quand on abaisse la manivelle, la bascule du ressort frotteur qui lui est adaptée, rencontre la surface du cadran, et le ressort frotteur, au lieu de rester sur le contact supérieur, se trouve abaissé sur le contact inférieur qui est en relation avec la pile tout entière; alors le courant envoyé, se trouvant presque doublé, fait fonctionner l'électro-aimant du mécanisme imprimeur réglé en conséquence.

Ce télégraphe a été essayé avec succès à l'administration des lignes télégraphiques, sur la ligne de Paris à Dieppe.

Télégraphe-imprimeur de House. — Ce télégraphe est d'une date déjà ancienne, et bien qu'il soit employé depuis longtemps sur certaines lignes télégraphiques américaines, sa disposition était tellement peu connue en Europe, que nous n'avons pas cru devoir en parler dans nos précédents volumes. Aujourd'hui, grâce aux publications de MM. Schaffner et Laurence Turnbull, nous sommes en mesure de réparer cette omission involontaire, et nous le ferons avec d'autant plus de plaisir, que ce système est jusqu'à présent celui de tous les télégraphes imprimeurs qui a été expérimenté le plus longtemps sur les lignes télégraphiques.

Le système de M. House, qui d'ailleurs se rapproche beaucoup de celui de M. Brett, quant au jeu des diverses pièces mécaniques qui le composent, se fait remarquer par

une particularité, très-admirée en Amérique, mais dont nous avouons humblement ne pas reconnaître encore toute l'importance, qui consiste dans l'emploi d'un agent gazeux pour servir d'intermédiaire entre l'action électro-magnétique développée dans l'appareil, et la fonction mécanique qui doit en être la conséquence. Cet agent gazeux est de l'air condensé, et la condensation de cet air s'effectue à l'aide d'une pompe de compression mise en mouvement par la pédale qui sert elle-même à la marche du transmetteur de l'appareil. Le rôle de cet intermédiaire est-il de soulager et de régulariser l'action électro-magnétique en permettant l'amplification du jeu des pièces mécaniques? ou bien est-il d'éviter les inconvénients du réglage? Aucune des descriptions publiées ne l'indique; tout ce que l'on sait, c'est que le jeu de la fourchette d'échappement du mécanisme compositeur, est commandé par l'action d'une espèce de piston qui se trouve mis en mouvement de va-et-vient, comme celui d'une machine à vapeur, par des courants d'air condensé, distribués à gauche et à droite du cylindre dans lequel il se meut, par une espèce de tiroir, et sous l'influence du système électro-magnétique.

A cet effet, ce système électro-magnétique se compose d'une bobine, à l'intérieur de laquelle sont fixés, à une certaine distance les uns des autres, cinq ou six anneaux de fer légèrement évasés par le haut. Une série de petits tubes de fer en forme de cloche, et fixés sur une même tige verticale en cuivre, sont suspendus au milieu du canon de cette bobine, de manière que chacun des tubes se trouve entre deux des anneaux de fer. Cette suspension est faite par l'intermédiaire d'un fil de cuivre flexible placé horizontalement en travers de la bobine, et que l'on peut tendre plus ou moins à l'aide d'une vis de rappel. Sous l'influence du courant traversant la bobine, ces différentes pièces de fer s'aimantent, et les tubes mobiles étant attirés par les anneaux de fer à

l'intérieur de la bobine, déterminent de la part de la tige qui les traverse, un mouvement de haut en bas, auquel succède immédiatement un mouvement de bas en haut (sous l'influence du ressort de suspension), dès que le courant a cessé d'agir. Or, c'est ce mouvement de va-et-vient qui a été utilisé au fonctionnement du tiroir dont nous avons parlé précédemment. Pour cela la partie supérieure de la bobine magnétique est munie d'une espèce de goulot cylindrique, dans lequel se meut à frottement doux et avec la tige portant les tubes de fer, une boîte cylindrique. Des rainures arrondies et pratiquées circulairement à l'intérieur du cylindre fixe et à l'intérieur du cylindre mobile, sont disposées de telle manière, qu'en se superposant d'un cylindre à l'autre elles peuvent constituer pour certaines positions seulement du cylindre mobile, des conduits annulaires, par lesquels l'air condensé introduit dans les rainures du cylindre fixe, peut être dirigé vers des orifices en communication avec le tube du piston de l'échappement, et produire, par suite, un mouvement de celui-ci, absolument comme dans les machines à vapeur.

On voit d'après cela, comment la roue d'échappement du mécanisme compositeur est mise en mouvement. Il nous reste à indiquer maintenant le jeu des divers autres organes de la machine.

Le transmetteur est à clavier, et se compose comme celui de M. Froment, que nous avons décrit dans notre 2e volume, d'un cylindre horizontal, muni de vingt-huit butoirs d'arrêt disposés régulièrement en hélice autour de lui, et correspondant aux leviers des différentes touches. Ce cylindre porte à son extrémité un cercle métallique vertical, sur lequel sont entaillés quatorze espaces remplis de matière isolante, et qui constitue l'interrupteur. Il peut d'ailleurs tourner indépendamment de l'axe qui le porte, étant monté à frottement dur sur ce dernier. Il résulte de cette disposition que pour

transmettre, il suffit de mettre cet axe en mouvement continu à l'aide d'une pédale, et d'abaisser successivement celles des touches du clavier qui correspondent aux lettres qu'on veut transmettre. Par suite de cet abaissement, le cylindre portant le commutateur se trouve toujours arrêté en temps convenable pour produire le nombre d'émissions de courant voulu pour le signalement de chaque lettre, et son mouvement est toujours uniforme, puisque l'axe qui doit le produire n'est jamais arrêté.

Le mécanisme compositeur se compose d'un mouvement d'horlogerie sur lequel réagit l'échappement dont nous avons parlé, et dont la roue des types, montée sur le même axe que cette dernière roue, est disposée horizontalement. Cette roue des types, en outre des vingt-huit caractères en relief, gravés sur sa circonférence, porte vingt-huit dents contre lesquelles appuie un petit bras d'acier adapté au système déclancheur du mécanisme imprimeur.

Ce système, très-mal défini dans les descriptions américaines, se compose, d'après ce que j'ai pu comprendre, d'une espèce de disque disposé presque tangentiellement à la roue des types, et sollicité en sens contraire du mouvement de cette roue, par un ressort spiral. Deux petites saillies fixées aux deux extrémités d'un même diamètre de ce disque, servent de butoirs d'arrêt à un levier de détente, qui, faisant partie du mécanisme imprimeur, tend à tourner avec lui, et le bras d'acier engagé entre les dents de la roue des types est relié à ce disque. Si la roue des types tourne vite, le bras en question reste soulevé au-dessus des dents de cette roue, et le levier de détente est maintenu embrayé par la première saillie du disque; mais lorsqu'il y a arrêt de la roue des types, le bras d'acier peut s'abaisser, et il permet alors au levier de détente, de se dégager pour venir buter contre la seconde saillie du disque. Toutefois cet arrêt n'est que passager, car aussitôt que la roue des types a

repris son mouvement, le levier de détente se dégage de cette seconde saillie pour reprendre sa première position. Il résulte de ce double dégagement du mécanisme imprimeur, la mise en mouvement d'une excentrique qui, en réagissant par l'intermédiaire d'une longue tige, sur une espèce de petite poulie octogonale placée devant la roue des types, peut approcher de cette roue la bande de papier destinée à recevoir la dépêche, et déterminer à chaque impression de lettre l'avancement de cette bande, par la rotation saccadée de la poulie. Celle-ci est munie à cet effet de deux rangées de petites dents aiguës qui s'enfoncent dans la bande de papier sous l'influence de la pression d'un ressort, et d'une roue à rochet, qui, en oscillant entre deux butoirs fixes sous l'influence du mouvement produit par l'excentrique, détermine sa rotation.

Avec ce système, l'impression ne peut se faire que par l'intermédiaire de bandes de papier noircies à la manière de celles qui sont employées pour les pantographes.

Comme complément de son système, M. House a adapté à l'axe vertical de la roue des types, une roue à rebord sur laquelle sont peintes les différentes lettres de l'alphabet. Cette roue est placée sous une espèce de toit en forme de cloche, dans lequel est percée une petite fenêtre, et l'on peut voir ainsi quelles sont les différentes lettres qui s'impriment. Enfin certaines dispositions mécaniques faciles à concevoir, permettent de mettre les appareils à la croix, et d'empêcher le mécanisme imprimeur de fonctionner, alors que le mécanisme compositeur marche toujours.

Si on a bien saisi la description qui précède, on peut comprendre que l'appareil de M. House est d'une délicatesse extrême, et exige une force électrique considérable ; il est de plus très-compliqué, très-difficile de réglage, et nous sommes en vérité étonné que les Américains aient pu l'adopter de préférence à tant d'autres qui lui sont souvent supérieurs. Il

ne transmet d'ailleurs dans les meilleures conditions, que deux mille mots par heure, alors que le morse peut en transmettre quinze cents, et entraîne six fois plus de dépense que ce dernier télégraphe.

Il n'est du reste employé qu'entre New-York et Washington (226 milles). Quand le temps est sec, et c'est le cas général dans le pays, il fonctionne bien, mais l'humidité rend tout travail à peu près impossible.

Pour éviter les inconvénients qui résultent d'une trop grande fréquence dans les émissions du courant, on a cherché à modifier le télégraphe précédent, de manière à n'exiger qu'une seule émission de courant pour chaque impression de lettre. On s'est trouvé dès lors conduit à établir des appareils avec des mécanismes à mouvements synchroniques. Pour obtenir ce synchronisme, on a eu recours à un mécanisme intermédiaire auquel on a donné le nom de gouverneur, et qui a pour effet de faire réagir sur le cylindre du transmetteur un électro-aimant embrayeur, quand la vitesse de l'appareil est trop grande. Ce mécanisme est fondé sur les effets de la force centrifuge, et n'a d'ailleurs rien de bien intéressant. On a conservé du reste le système à air condensé, ainsi que le système magnétique qui le commande. Seulement au lieu de le faire réagir sur la roue d'échappement, on l'a appliqué à la détente du mécanisme imprimeur en employant une espèce de mécanisme correcteur qui rétablit toujours la roue des types dans sa véritable position après chaque impression de lettre.

Ce système télégraphique, qui est bien inférieur à celui de Hughes, est employé sur la ligne de New-York à Boston (236 milles), sous le nom de COMBINATION-SYSTEM. Il ne marche pas d'ailleurs mieux que celui de House [1].

1. Voir les détails concernant ces deux télégraphes dans les *Annales télégraphiques*, tome V, pages 173 et 179.

Appareils pour le rappel des postes pendant la nuit, et l'établissement automatique de la communication directe.

Nous avons consacré, dans les tomes III et IV de notre exposé, deux longs chapitres à l'étude de ce genre d'appareils, auxquels nous avions donné le nom d'appels silencieux. (Voir tome III, page 183, et tome IV, page 299.) Dans ces dernières années, cette question a été remise à l'ordre du jour, et une foule de systèmes différents ont été présentés, tant par certains fonctionnaires de l'administration des lignes télégraphiques, que par des inventeurs étrangers. Ne pouvant les décrire tous, nous parlerons seulement de ceux de MM. Quéval, Lamothe, Callaud, Moulinot, Bablon, Bellanger, qui nous ont paru les plus intéressants.

Système de M. Queval. — Le problème à résoudre dans les appareils en question, est, comme on le sait, de faire en sorte que l'appel fait à une station quelconque, puisse parvenir directement à cette station, sans que les postes intermédiaires soient dérangés, et d'établir entre les deux stations qui doivent correspondre une communication directe.

Pour arriver à ce résultat, M. Queval place à chaque station l'appareil représenté dans la figure 3, pl. I, qui se compose essentiellement d'un commutateur C, mis en action par un mécanisme commandé par un électro-aimant E, dont une bobine est mise en rapport avec le fil de gauche de la ligne, et dont l'autre bobine communique avec le fil de droite.

Ce mécanisme consiste dans une espèce de fourchette ALB, adaptée au levier L portant l'armature de l'électro-aimant, et qui en oscillant avec ce levier au-dessus et au-dessous d'une roue R, mise en mouvement par un mécanisme d'horlogerie, peut faire engrener avec elle l'une ou l'autre des roues A et B,

qui terminent ses deux branches. La roue B porte une poulie qui, au moyen d'une courroie, communique son mouvement à une autre poulie S, munie d'un contre-poids P, et destinée à réagir par l'intermédiaire de ce contre-poids, sur un levier D adapté à l'axe du commutateur C. L'autre roue A, munie également d'un contre-poids T, a pour effet de déplacer, en lui faisant décrire un arc de cercle, un long ressort déclancheur AK, ayant action sur un levier coudé articulé FIJ, destiné à maintenir le commutateur C dans une position déterminée.

Le commutateur C se compose d'un cylindre d'ivoire C, sur les deux bases duquel sont adaptées deux lames métalliques N, N′, repliées de manière à venir occuper chacune en deux points opposés, une partie de la surface du cylindre, Quatre galets *a*, *b*, *c*, *d*, portés par des supports à ressort, appuient aux deux extrémités de ce cylindre, et sont en rapport avec les fils de ligne et les sonneries d'appel, comme on le voit sur la figure, c'est-à-dire par l'intermédiaire du commutateur et de l'électro-aimant E. Un contre-poids adapté au levier D, et dont on peut augmenter ou diminuer l'action, en le fixant plus ou moins loin de l'axe du commutateur, tend toujours à faire tourner celui-ci vers la gauche, mais une dent O, enclanchée par le levier coudé FIJ, empêche cette action et maintient à l'état normal le commutateur dans la position représentée sur la figure. Les communications électriques sont d'ailleurs établies de la manière suivante : les deux fils de ligne aboutissent aux deux bornes U, Z, qui communiquent, l'une U avec la bobine de droite de l'électro-aimant E et le galet *a*, l'autre Z avec la bobine de gauche du même électro-aimant et le galet *d*. Cette dernière bobine est reliée, d'autre part, avec l'un des supports du commutateur C, et par suite avec la plaque N, tandis que l'autre bobine communique de la même manière avec la plaque N′. Enfin les galets *b* et *c*, par l'intermédiaire des bornes Q, Y, correspondent aux deux

sonneries d'appel. Voici maintenant comment cet appareil fonctionne.

En temps ordinaire, le mécanisme d'horlogerie qui fait mouvoir la roue R est arrêté, car le contre-poids P, étant arrivé à l'extrémité supérieure de sa course, a rencontré un levier de détente M placé devant le volant modérateur de ce mécanisme, et en a déterminé l'arrêt. En ce moment la roue B est engrenée avec la roue R. Maintenant si on envoie par l'une ou l'autre des deux lignes, un courant, la roue B se trouvera désengrenée, le contre-poids P tombera en faisant défiler les deux poulies S et B, et la roue A engrènera avec la roue R. Mais par suite de ce mouvement, la lame AK, qui appuyait contre l'extrémité F du levier coudé FIJ, viendra s'engager dans la coche pratiquée à cette extrémité. Or, dans cette position de l'appareil, il peut se produire deux effets différents, suivant la durée du courant envoyé. Si ce courant est de courte durée, la roue A n'a pas le temps de déplacer le ressort AK, et de le faire sortir de la coche F; alors le relèvement du levier sous l'influence de son ressort antagoniste X, a pour effet de soulever le levier coudé FIJ; celui-ci, en dégageant la dent O, permet au commutateur C de tourner vers la gauche, et les galets *b* et *c*, qui correspondent aux sonneries, au lieu de toucher les lames N, N', se trouvent isolés, alors que les galets *a* et *d* se trouvent mis en communication avec ces lames, et établissent la communication directe entre le fil de gauche de la ligne et le fil de droite. Toutefois, dans son mouvement de rotation, le commutateur C, par l'intermédiaire d'un bras V, réagit sur la lame AK, et après l'avoir dégagée du levier FIJ, rend celui-ci parfaitement libre dans ses mouvements. Il en résulte qu'au moment de l'interruption du courant, la roue B, qui est alors engrenée, remonte le poids P, et ramène le commutateur à sa première position; mais cette action secondaire ne se manifeste qu'après un

temps relativement assez long (15 ou 20 secondes), et qui dépend de la longueur de la course du poids P, et de la vitesse de rotation de la roue R.

Quand le courant envoyé est de longue durée, les premiers effets que nous avons décrits précédemment se renouvellent. Mais la lame AK, après avoir été introduite sous le levier FIJ, ne peut y rester, car la roue A en tournant, l'écarte de cette position. Dès lors le commutateur C ne peut plus tourner vers la gauche au moment de la rupture du circuit, puisqu'il reste toujours enclanché en O, et le courant prolongé en passant par les galets *b* ou *c*, fait tinter l'une ou l'autre des sonneries d'appel aussi longtemps qu'on le désire.

Ainsi, sous l'influence de deux émissions de courant d'une durée différente, on peut obtenir avec ce système deux effets différents : avec le courant de courte durée, on obtient l'établissement de la communication directe entre le fil de gauche et le fil de droite de la ligne, avec le courant prolongé, l'appel de la station.

S'il y a plus de trois stations, le même appareil peut encore fournir les effets précédents; seulement il faudra, pour établir la communication directe, envoyer autant de courants instantanés, qu'il y a de stations sur la ligne, moins deux, et les faire suivre d'une émission prolongée du courant, qui déterminera l'appel de la station avec laquelle on veut définitivement correspondre. On comprend en effet que si la ligne a 10 postes, et qu'on veuille, je suppose, parler au sixième poste, la première émission brève du courant, aura pour effet d'établir la communication directe entre la 3e et la 1re station, mais la seconde émission de la même nature fera communiquer directement la 4e station à la 3e, etc., de sorte que pour arriver à la 6e, il faudra quatre émissions brèves du courant. Si alors on opère une fermeture prolongée du courant, la sonnerie d'appel du sixième poste, sera mise en action.

Dans cet appareil tel qu'on vient de le décrire, le courant nécessaire pour établir la communication directe, si court qu'il soit, passe par la sonnerie, et provoque nécessairement quelques tintements, auxquels l'employé ne devra pas faire attention. Si cependant on voulait éviter ces tintements, ou employer des sonneries qui se déclanchent au moindre passage du courant, il serait nécessaire d'ajouter à l'appareil un rhéotome ayant pour effet de retarder d'une ou de deux secondes l'arrivée du courant dans la sonnerie; mais cette addition, dont il est facile d'imaginer le dispositif, puisqu'on a à son service un mécanisme d'horlogerie, compliquerait inutilement l'appareil, et il est préférable de lui laisser toute sa simplicité.

Avec le système de M. Queval, l'employé du poste destinataire doit, aussitôt l'appel entendu, mettre son récepteur dans le circuit, et répondre qu'il est prêt à recevoir. Mais s'il s'agit d'un service de nuit, sur une ligne où les employés peuvent être couchés ou absents momentanément, l'expéditeur pourrait souvent être obligé d'attendre assez longtemps le réveil ou le retour de celui qui doit recevoir la dépêche. Pour éviter cet inconvénient, M. Quéval a ajouté à son appareil un mécanisme supplémentaire qui a pour effet de permettre à l'expéditeur de faire mouvoir lui-même le commutateur destiné à interposer le récepteur dans la ligne, et par suite d'écrire la dépêche sans aucune perte de temps; une sonnerie à déclanchement, mise en même temps en action, avertit tôt ou tard de l'arrivée de la dépêche. Nous ne décrirons pas cette partie de l'appareil de M. Quéval, que nous croyons à peu près inutile; ceux que cette question pourra intéresser, en trouveront une description complète dans le travail de M. Quéval, inséré dans les annales télégraphiques, tome III, page 301.

Système de M. Callaud. — Le système de M. Callaud est un des plus simples, sinon des plus complets, qui aient été

présentés. Il se compose d'un manipulateur analogue à ceux des télégraphes à cadran, et d'un récepteur composé de deux électro-aimants mis en rapport, l'un avec le fil de ligne de droite, l'autre avec le fil de ligne de gauche.

Le manipulateur porte un cadran divisé en autant de divisions qu'il y a de stations entre les deux postes extrêmes, et devant chacune de ces divisions, où se trouve inscrit le nom de la station correspondante, est pratiqué un trou d'arrêt pour la manivelle du manipulateur; celle-ci ne sert, par le fait, que de butoir à une aiguille indicatrice qui se meut au-dessous d'elle sous l'influence d'un mécanisme d'horlogerie, lequel fait réagir un interrupteur, de telle façon que le courant ne se trouve fermé que quand l'aiguille passe devant l'une ou l'autre des stations désignées. Il en résulte que si l'on veut attaquer la troisième station, par exemple, le courant est fermé et ouvert trois fois. Afin de n'employer qu'un seul manipulateur, les noms des stations de gauche et des stations de droite sont inscrits deux par deux, suivant leur numéro d'ordre, et c'est un commutateur qui envoie le courant, soit à gauche, soit à droite.

Le récepteur se compose, comme nous l'avons dit, de deux électro-aimants qui gouvernent la chute de deux plaques disposées de manière à tomber par deux ressauts successifs. A l'état de repos, ces plaques présentent devant les guichets qui leur correspondent le mot *attente;* mais aussitôt qu'une émission de courant a lieu, soit d'un côté, soit de l'autre, l'une d'elles tombe d'un cran, et, tout en faisant arriver devant le guichet correspondant le mot *répondez,* établit un contact qui fait tinter la sonnerie du poste. Si une seule émission de courant a été fournie, l'effet précédent se maintient, et c'est le poste où il se manifeste qui est appelé; mais, si deux ou plusieurs fermetures de courant se succèdent, la plaque dont nous venons de parler tombe d'un second cran, et cette fois elle établit un contact qui fournit la communication directe

28

avec la station suivante. Ce contact, par l'intermédiaire d'un mécanisme d'horlogerie, peut être maintenu pendant cinq ou dix minutes après la rupture du courant; mais après ce temps, la plaque se trouve relevée et replacée à son point de départ.

On comprend maintenant facilement que si, au moyen du manipulateur, on opère trois fermetures successives du courant, ce sera la troisième station qui sera appelée; car la première et la deuxième ayant reçu, l'une trois émissions de courant, l'autre deux, auront établi la communication directe, et ce ne sera que la troisième qui recevra l'émission unique de courant propre à faire fonctionner la sonnerie d'appel. Il est vrai qu'au moment de la descente des plaques des deux premières stations, les sonneries d'appel de celles-ci auront fonctionné, mais ce ne sera que passagèrement, une seconde à peine, tandis que la sonnerie de la troisième station pourra marcher pendant cinq ou dix minutes.

Système de M. Lamothe. — Le système de M. Lamothe n'a pour but que le rappel des stations, et il a cherché, en conséquence, à concentrer tous les mécanismes destinés à produire cet effet dans le mécanisme même de la sonnerie. La sonnerie de M. Lamothe est une sonnerie à rouages ordinaires, dans laquelle le timbre est monté sur une pièce mobile; à l'état de repos, le timbre est hors de la portée du marteau, et, sous l'influence du premier courant, ce marteau vibre pendant treize minutes sans toucher le timbre et sans faire d'appel; mais le mouvement d'horlogerie fait tourner en même temps un disque muni d'une saillie qui, à un moment donné, vient presser sur un ressort de contact. Or, si, à ce moment, on envoie un second courant, on ferme le circuit d'une pile locale qui, par le moyen d'un deuxième électro-aimant, rapproche le timbre du marteau, et dès-lors la sonnerie se fait entendre. Comme il faut qu'un employé

intervienne pour remettre le timbre dans sa première position, cette sonnerie peut fonctionner comme à l'ordinaire.

Ainsi, avec ce système, par une seule émission, point d'appel; par deux émissions séparées par un intervalle déterminé, appel pendant plusieurs minutes, renouvelé autant de fois qu'on le voudra, jusqu'à ce que l'agent appelé arrive à son poste.

Un cadran divisé, entraîné par le mouvement d'horlogerie, indique d'ailleurs le moment précis où l'on doit envoyer le second courant; et M. Lamothe pense que les sonneries marcheront d'une manière assez uniforme pour qu'on puisse partager ce cadran en vingt-six parties différentes, susceptibles d'être toujours en concordance entre elles, dans quelque endroit où se trouvent les sonneries. Il en résulte qu'en plaçant le ressort de contact à un cran différent pour chaque station, on pourrait réveiller l'un quelconque des vingt-cinq postes placés sur le même fil, le vingt-sixième étant destiné à les rappeler tous à la fois. La demi-minute réservée à chaque station serait, sans doute, suffisante pour éviter toute erreur provenant des différences de mouvement. Ces erreurs, du reste, ne s'accumulent pas, puisque toutes les sonneries s'arrêtent au même point après les treize minutes de la rotation du cadran.

Système de M. Bellanger. — L'appareil imaginé par M. Bellanger n'est applicable qu'aux télégraphes à cadran, qui doivent se composer, à cet effet, de deux cadrans, l'un destiné pendant le jour aux transmissions ordinaires, l'autre au rappel des postes. Ce dernier doit être mis en état de fonctionner pendant la nuit au moment où les employés quittent le bureau. Ces cadrans, d'ailleurs, portent les mêmes lettres, et leur aiguille est fixée sur le même axe et dans la même position. La seule différence qui existe entre eux, c'est que le cadran de nuit porte au-dessous de chaque lettre un trou destiné à recevoir une fiche à tête ronde, qui peut (étant



avancée) être rencontrée par l'aiguille et fournir un contact. Pour que l'appareil puisse fonctionner comme appel des postes, il faut que la fiche soit suffisamment avancée pour fournir le contact dont nous venons de parler, et, à cet effet, le cadran de nuit peut se trouver reculé ou avancé parallèlement à lui-même à l'aide d'une vis de rappel et de guides convenablement disposés. Chaque poste a son cadran de nuit muni d'une fiche, mais cette fiche est différemment placée, suivant que le numéro de position de ce poste correspond à telle ou telle lettre de l'ordre alphabétique.

Pour qu'il n'y ait qu'un seul poste d'appelé, M. Bellanger adapte à son appareil un premier mécanisme d'horlogerie dont l'une des roues, à mouvement lent, porte une cheville disposée de manière à rencontrer une languette portée par une colonne isolée. Cette languette est disposée de manière à produire un arrêt sur le dernier mobile, et peut en même temps fournir un contact électrique pour faire réagir la sonnerie du poste. Si le rapport de mouvement de cette roue avec le dernier mobile est de 1 à 2,000, ce contact pourra ne se renouveler que toutes les dix minutes.

Avec cette disposition, on comprend aisément que, pour appeler une station, il suffit de porter la manivelle du manipulateur sur la lettre correspondant au numéro d'ordre de cette station, et de la maintenir pendant dix minutes dans cette position. Le courant de la pile locale ne pourra, en effet, réagir sur la sonnerie d'appel des différents postes qu'autant qu'il y aura contact simultané : 1° entre l'aiguille indicatrice du cadran et sa fiche; 2° entre la cheville de la roue qui fait son tour en dix minutes et la languette du mécanisme d'embrayage; or, ce double contact n'aura lieu qu'à la station où l'aiguille indicatrice se sera arrêtée sur la fiche correspondante. Une pédale adaptée à la détente d'embrayage permet, du reste, de faire échapper la cheville une fois le contact opéré.

Afin de ramener automatiquement à la croix les aiguilles des appareils des différents postes après un premier appel, M. Bellanger adapte à son appareil un second mouvement d'horlogerie qui a pour effet de réagir mécaniquement sur la pédale dont il vient d'être question et sur celle du récepteur télégraphique qui ramène les aiguilles à la croix. Ce second mécanisme d'horlogerie est mis en action sous l'influence d'un électro-aimant spécial qui n'exerce son effet qu'après que l'appel a eu lieu.

Système de M. Bablon. — Le système de M. Bablon a pour effet de rompre simultanément dans tous les postes la communication directe par une première émission d'un courant de sens contraire à celui qui fait fonctionner les appareils télégraphiques et les sonneries, et de la rétablir ensuite successivement à chaque autre émission du même courant jusqu'au poste demandé. Ce résultat est obtenu : 1° à l'aide de deux électro-aimants munis d'une double hélice, dont l'une est parcourue constamment par le courant d'une faible pile locale; 2° au moyen d'un commutateur assez compliqué, sur lequel réagit un échappement commandé par un régulateur à force centrifuge et l'un des deux électro-aimants précédents.

Ce système, longuement décrit par son auteur dans les *Annales télégraphiques* (tome IV, page 645), n'est pas assez important et est trop compliqué pour que nous en fassions ici une description détaillée.

Système de M. Moulinot.— Le système de M. Moulinot, que nous représentons figure 98, page 438, se compose essentiellement de deux relais translateurs l, l′, dont l'un l réagit sur un mécanisme d'horlogerie à échappement, ayant pour fonction de faire réagir un double interrupteur à travers lequel les courants de la ligne de gauche ou de la ligne de droite doivent passer avant d'arriver aux relais. Cet interrupteur se compose de deux bascules A, B (indiquées en élévation fig. 99),

appuyant par l'une de leurs extrémités sur deux contacts en rapport avec les relais, et munies à leur autre extrémité d'une petite came que peuvent rencontrer les dents d'une roue épaisse C montée sur l'axe de la roue d'échappement D du

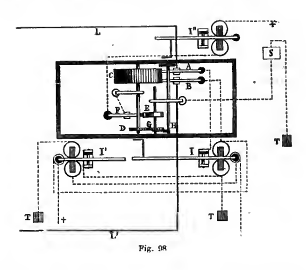


Fig. 98

mécanisme d'horlogerie. La disposition de cette came, par rapport à la roue d'échappement, est telle, que cette rencontre ne peut se faire qu'un peu avant l'échappement de chaque dent de cette dernière roue; c'est-à-dire au moment où le levier du relais, après avoir été attiré, se relève. Cet interrupteur a une double fonction à remplir : il établit d'abord ou supprime les communications des fils de ligne L, L', avec les deux relais ; mais, comme au moment où cette communication est coupée, les deux bascules A et B se trouvent en contact métallique avec une même dent de la roue C qui commande le jeu de cet interrupteur, les deux fils de ligne se trouvent réunis par ce seul fait et la communication directe est établie ; toutefois, cette communication directe n'est que momentanée, ainsi

qu'on l'a vu précédemment. Ainsi, toutes les fois que les bascules A et B de l'interrupteur ne sont pas soulevées, la ligne est disposée en translation, et toutes les fois que le contraire a lieu, la communication directe est obtenue. Voyons maintenant comment M. Moulinot a pu profiter de cette disposition pour faire ses appels.

Sur un second axe parallèle à celui de la roue d'échappement se trouve adaptée une seconde roue à rochet G, maintenue par une étoile et disposée de manière à être entraînée par la roue d'échappement quand celle-ci tourne. Toutefois, cet entraînement ne peut avoir lieu que sous certaines con-

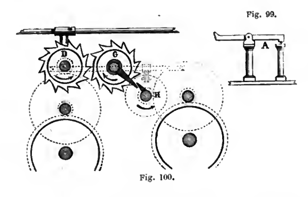


Fig. 99.

Fig. 100.

ditions; car à cette nouvelle roue il manque une dent, et en temps ordinaire l'échancrure qui en résulte se trouve placée devant la roue d'échappement, comme on le voit fig. 100 ci-dessus. Pour que celle-ci puisse, dans ce cas, entraîner la roue G, on a adapté à cette dernière un doigt allongé qui peut être rencontré par une came H faisant partie d'un second mécanisme d'horlogerie commandé par un échappement à deux chevilles (indiqué en pointillé sur la figure 100), et par un électro-aimant supplémentaire I″ (fig. 98). Celui-ci est mis en rapport électrique : 1° avec la pile locale de la station où

est placé l'appareil; 2° avec une seconde bascule F (formant interrupteur) sur laquelle réagit une came E adaptée à l'axe de la roue échancrée G; 3° avec l'axe de la roue C du premier interrupteur. Enfin, pour compléter l'appareil, une sonnerie trembleuse à déclancheur S est mise en rapport avec la terre et l'axe portant la roue échancrée G. Voici ce qui résulte de ces diverses dispositions.

Quand à la station qui fait l'appel, on opère une fermeture du circuit, le relais correspondant I ou I′ de la première station est mis en action, et celui-ci fait marcher de la même manière les autres relais échelonnés sur la ligne. Sous l'influence de l'attraction produite sur ce relais, la roue d'échappement D, commandant le jeu de l'interrupteur, avance d'une demi-dent, et au moment où on interrompt le circuit, cette roue s'est avancée d'une dent entière; il en résulte un soulèvement des bascules A et B du double interrupteur de chaque appareil, et une communication directe momentanée est établie sur toute la ligne; mais comme, une fois l'échappement effectué, les appareils reprennent leur position primitive, on peut télégraphier avec ce système comme à l'ordinaire.

Maintenant, admettons qu'après une première fermeture du courant à la station qui appelle, on établisse une communication de la ligne avec la terre, en même temps qu'on interrompra le courant, il pourra se produire sur les appareils interposés aux stations deux effets : le premier sera d'animer l'électro-aimant supplémentaire I″ en complétant son circuit par la roue C du double interrupteur et le fil de ligne, alors établi en communication directe, et il en résultera, par conséquent, le déclanchement de la came H du second mécanisme d'horlogerie, et, par suite, le déplacement de l'échancrure de la roue G commandée par le premier échappement. Le second effet aura pour résultat, si la came E adaptée à l'axe de la roue échancrée G est convenablement placée, de

fournir un contact qui fera déclancher la sonnerie d'appel. Or, on comprend immédiatement, d'après cette disposition, que le jeu de la sonnerie d'appel à l'une ou à l'autre des stations dépendra uniquement de la position de la came E, fournissant ce dernier contact, par rapport aux dents de la roue échancrée. Si cette position correspond à la première dent après l'échancrure, c'est la première station qui est appelée; si, au contraire, elle correspond à la quatrième ou à la cinquième dent, ce seront les quatrième ou cinquième stations qui seront appelées. Mais alors il faudra opérer à la station qui appelle, comme on le comprend aisément, autant de fermetures de courant (après la mise en contact avec le sol) qu'il y a de stations moins une, échelonnées jusqu'à la station appelée.

On a déjà deviné que la position normale des appareils étant celle dans laquelle la roue échancrée présente son entaille devant la première roue d'échappement, il faut nécessairement, pour que les appareils soient en position de fournir un nouvel appel, que le nombre des émissions de courant produites à la station qui appelle soit suffisant pour que ces roues aient accompli une révolution entière. Cet effet, du reste, est obtenu directement par le fait même de la transmission de la dépêche, dont la longueur n'a d'ailleurs aucune influence, puisque la partie échancrée se trouvant revenue à sa position primitive, elle ne peut être déplacée que sous l'influence d'un nouveau contact à la terre.

Ce système, bien qu'un peu compliqué, est réellement très-ingénieux.

Systèmes de transmissions simultanées de plusieurs dépêches par le même fil.

Nous avons, dans nos deux derniers volumes, consacré quelques pages à la description de ces systèmes intéressants

qui, s'ils n'ont pas été d'une grande utilité dans la pratique, ont fourni d'ingénieuses solutions dont on a déjà tiré parti dans d'autres applications électriques. Les systèmes que nous avons étudiés sont ceux de MM. Gintl, Edlund, Wartmann, Siemens, Duncker et Starke[1]. Aujourd'hui, nous allons compléter notre description par l'étude d'un nouveau système de M. Wartmann et d'un autre de M. Rouvier.

La transmission simultanée de plusieurs dépêches peut être obtenue de trois manières différentes : 1° en utilisant les intervalles qui séparent les émissions de courant pendant le passage d'une dépêche pour employer le fil à une seconde transmission ; 2° en disposant les appareils de manière que plusieurs courants envoyés à la fois des deux stations opposées puissent réagir comme s'ils traversaient la ligne sans se confondre ; 3° en envoyant des courants de diverses intensités et réglés de manière à correspondre chacun à une station déterminée. Les systèmes de MM. Duncker et Starke, que nous avons décrits dans notre dernier volume, sont basés sur ce dernier principe ; ceux de MM. Siemens, Edlund, Wartmann, etc., sur le second ; enfin, celui de M. Rouvier, que nous allons maintenant étudier, est fondé sur le premier principe.

Système de M. Rouvier. — Pour pouvoir utiliser les intervalles des émissions de courant produites pour l'envoi d'une dépêche à la transmission d'une autre dépêche, M. Rouvier admet en principe qu'il faut : 1° imprimer aux appareils, destinés à réaliser cet effet aux deux extrémités de la ligne, deux mouvements parallèles identiques ; 2° subordonner à ces mouvements le jeu des manipulateurs.

Pour résoudre le premier problème, M. Rouvier a recours à un moyen analogue à celui que M. Caselli a employé pour son télégraphe autographique. Il prend deux pendules de même

1. Voir le *Traité général des applications de l'électricité*, par M. Gloesener, t. I, p. 176.

longueur, de même forme, de même poids, et charge l'électricité d'entretenir leurs mouvements, une fois abandonnés à eux-mêmes, et de régler leur marche de telle manière que, s'écartant également de la verticale, ils abandonnent leur position extrême précisément au même instant. Il arrive à ce résultat par un moyen analogue à celui de M. Caselli, mais beaucoup moins sûr.

Pour résoudre la seconde partie du problème, M. Rouvier adapte au pendule deux petits leviers destinés à réagir comme frotteurs, et qui se trouvent mis alternativement en action à chaque demi-oscillation du pendule par l'intermédiaire d'une bascule adaptée également à l'axe de celui-ci et qui conserve une position différente suivant que le pendule se meut de gauche à droite ou de droite à gauche. Cette bascule sert en même temps de conjoncteur de courant pour animer les électro-aimants destinés à l'entretien du mouvement du pendule, absolument comme dans le système de M. Caselli.

En face des leviers dont nous venons de parler, et placées sur deux circonférences concentriques, sont adaptées huit séries de lames métalliques isolées, disposées par groupes de

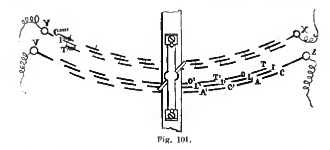


Fig. 101.

trois et en retrait les unes sur les autres, comme dans la figure 101 ci-dessus.

Les lames d'une même série n'ont entre elles aucune

communication; mais, par suite de leur disposition, il arrive forcément que le frotteur du pendule ne peut quitter une série pour glisser sur la suivante que lorsqu'il a déjà eu un contact avec celle-ci. D'un autre côté, ces lames communiquent d'une série à l'autre suivant le numéro d'ordre des groupes par rapport à la verticale.

Ces différentes lames sont reliées métalliquement à deux systèmes de claviers destinés à réagir sur deux récepteurs Morse différents, et leur liaison avec ces claviers, composés chacun de huit touches, est faite de telle manière que l'un des claviers correspond aux groupes pairs et l'autre aux groupes impairs.

Avec cette disposition, il suffit, au commencement d'une oscillation du pendule, de toucher, soit isolément, soit collectivement, par deux, par trois ou par quatre, etc., les différentes touches de l'un ou l'autre des claviers, pour transmettre les différentes lettres de l'alphabet sur le récepteur correspondant; et comme la réaction du frotteur conduit par le pendule ne s'opère pas en même temps sur les touches paires et sur les touches impaires, les deux claviers peuvent être touchés en même temps par deux expéditeurs et fournir des dépêches différentes sur les deux récepteurs, pourvu que l'abaissement des touches correspondant à telle ou telle lettre soit prolongé sur les deux claviers tout le temps de l'oscillation entière du pendule.

Afin d'éviter à l'employé la recherche des combinaisons de touches nécessaires pour la transmission des différentes lettres, M. Rouvier a disposé un système de transmetteur à clavier et à lettres, qui fournit immédiatement cette combinaison par l'effet de l'abaissement de celle des touches qui correspond à la lettre que l'on veut transmettre. De cette manière, la corrélation du temps de transmission des signaux avec les mouvements du pendule est plus facile, et la manœuvre de l'appareil plus aisée.

L'idée de la transmission, par un manipulateur à huit touches, de tous les signaux Morse correspondant aux différentes lettres de l'alphabet, étant nouvelle et ingénieuse, nous croyons devoir entrer dans quelques détails à ce sujet.

Les lames métalliques rencontrées par le frotteur du pendule sont, comme on l'a vu, au nombre de trois pour chaque groupe et sont en retrait l'une sur l'autre. Si l'on considère deux touches contiguës d'un même clavier comme représentant un système particulier dont l'une des touches est solidaire de l'autre électriquement, et qu'on suppose ces deux touches reliées aux lames consécutives C et 1, par exemple, on comprendra qu'il pourra arriver, quand on abaissera la touche *indépendante*, que la pile sera mise à la fois en rapport avec les deux plaques précédentes, et alors il se produira, au moment du passage du frotteur pendulaire, deux fermetures de courant qui se succéderont, il est vrai, mais sans interruption, et qui pourront fournir le trait sur le récepteur. Si on abaisse à la fois les deux touches, la communication de l'une des plaques précédentes avec la pile sera coupée, et on n'obtiendra qu'une fermeture de courant correspondant à l'autre plaque, qui ne fournira sur le récepteur que le point. Ainsi, en abaissant l'une des deux touches on obtient le trait, et en abaissant les deux à la fois on a le point.

On conçoit facilement que le même effet se reproduisant avec le second système de doubles touches du manipulateur, on pourra, par l'abaissement des touches 1 et 3, obtenir deux traits, et par l'abaissement des quatre touches, deux points; de sorte que toutes les combinaisons binaires de points et de traits entrant dans l'alphabet Morse pourront déjà être reproduites avec les quatre premières touches du manipulateur. Par des raisons analogues, les combinaisons ternaires et quaternaires pourront être fournies par les quatre dernières touches combinées avec les quatre premières.

La figure 102 ci-dessous montre comment les deux touches de chaque système doivent être disposées pour produire l'effet dont nous venons de parler.

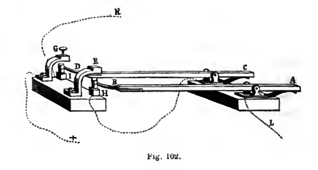


Fig. 102.

La touche C communique aux plaques C et C'''''' (fig. 101) de l'appareil pendulaire, la touche A aux plaques 1 et 1'''''' du même appareil; le contact I (fig. 102), sur lequel repose le ressort de la tige C, correspond au récepteur, tandis que celui H, sur lequel appuie le ressort de A, communique à la touche C. Enfin, le butoir G est en relation avec le pôle positif de la pile, et le frotteur du pendule avec le fil de ligne. La touche C est celle que nous avons appelée *indépendante*. Quand on l'abaisse, le courant de la pile passe de G en C, de C en C et C'''''' (fig. 101), et par A et L (fig. 102) arrive à 1 et 1'''''' (fig. 101); d'où résulte la double fermeture du courant produisant le trait. Quand on abaisse A et C (fig. 102) à la fois, le circuit entre 1, 1'''''' et C est coupé, et le courant de la pile ne peut plus rejoindre les plaques I et 1''''''.

On comprend aisément que c'est pour ne pas trop rapprocher les seize groupes de plaques les unes des autres qu'on les a disposées sur deux rangées.

La disposition du transmetteur à clavier et à lettres est assez simple avec ce système; car il suffit de placer en croix,

sous les huit touches dont nous venons de parler, et qui peuvent être alors très-longues et très-effilées, les vingt-huit touches correspondant aux vingt-six lettres de l'alphabet, aux blancs et à l'attaque, et de munir ces touches d'un nombre de chevilles nécessaire pour soulever à la fois celles des huit touches qui doivent fournir les différentes lettres.

Il nous reste maintenant à indiquer le rôle des troisièmes lames O et T (fig. 101) de chaque groupe du commutateur. Ces lames n'ont qu'un rôle passif et ne sont nullement nécessaires pour les transmissions; elles ne servent qu'à mettre la ligne en communication avec la terre après chaque émission de courant, et, par conséquent, à décharger la ligne.

M. Rouvier, dans un mémoire très-intéressant qu'il a publié sur son système dans les *Annales télégraphiques*, tome III, page 5, entre dans de longs détails sur la manière de disposer ses appareils pour la translation; mais nous ne le suivrons pas dans ces détails, qui n'ont qu'un intérêt très-secondaire. Nous ajouterons seulement, pour terminer avec ce système, que, quelque ingénieux qu'il puisse être, il ne peut avoir d'application sérieuse, attendu que sur les lignes sous-marines et les longs circuits aériens, où l'on pourrait avoir avantage à l'employer, on est obligé d'espacer les émissions de courant pour que les signaux ne se confondent pas. On pourrait, il est vrai, en espaçant davantage les contacts du commutateur du système précédent, arriver au même résultat; mais alors la vitesse de transmission définitive ne serait pas augmentée, car le ralentissement du temps de transmission de chaque dépêche compenserait les avantages que fournirait la double transmission.

Système de M. Wartmann. — Le nouveau système de M. Wartmann réalise le même problème que celui que s'étaient proposé MM. Duncker et Starke.

Pour transmettre simultanément un nombre quelconque de dépêches, le poste expéditionnaire doit être pourvu d'au-

tant de manipulateurs qu'il y a de dépêches à envoyer. Les manipulateurs sont indépendants les uns des autres, et peuvent fonctionner, soit isolément, soit plusieurs à la fois.

Le premier manipulateur lance sur la ligne le courant d'une pile formée d'un nombre d'éléments a; le second ferme le circuit d'une pile d'un nombre plus grand d'éléments, b, par exemple, b étant au moins égal à $2\ a$. La troisième clef ferme le circuit d'une pile d'un nombre c d'éléments, c étant au moins égal à $4\ a$, et ainsi de suite. Les manipulateurs sont disposés de telle manière, que les leviers de deux quelconques d'entre eux étant abaissés, les piles auxquelles ils correspondent s'ajoutent en tension.

Le poste de réception doit contenir autant de relais qu'on peut établir de *combinaisons* avec les manipulateurs; ces relais, placés tous dans le même circuit que la ligne, commandent autant d'appareils à signaux qu'il y a de dépêches à recevoir.

Ainsi, pour transmettre m dépêches simultanément, il faut, à chacune des stations, m piles, m manipulateurs, et un récepteur composé de m appareils à signaux et $(2m-1)$ relais.

Nous allons nous borner à examiner en détail le cas où le nombre des dépêches à envoyer simultanément est de deux; c'est, du reste, le seul que M. Wartmann regarde comme matériellement applicable.

La figure 103 ci-contre montre deux stations S et S′ réunies par un fil conducteur. Pour la première, on a représenté les deux manipulateurs M et N et les deux piles de la ligne A et B; le récepteur Q est seulement indiqué.

Pour la seconde station, on a supprimé les deux manipulateurs, et l'on voit le récepteur, composé de trois relais, R′, R″ et R‴, les deux appareils à signaux X et Y, et les deux piles locales R et U.

Le levier du manipulateur M, dont l'extrémité est terminée

par deux vis platinées *a* et *c*, pivote autour du point *f* situé au tiers de sa longueur, à partir de la poignée *t*. La pression de la main sur cette poignée donne au levier un mouvement, dont la rapidité est à son maximum au bout d'un instant

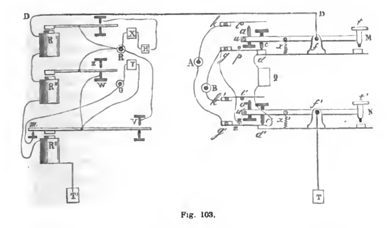


Fig. 103.

très-court, avant qu'il ait dépassé le milieu de sa course. Le levier M appuie sur le ressort *g* qu'il déprime sur l'enclume *d*, et ce ressort accompagne la vis *c* jusqu'à ce qu'il soit arrêté par le butoir *p*, quand le levier possède sa plus grande vitesse. Alors la vis *a* soulève le ressort *k*. La distance des extrémités de contact des vis *a* et *c* est réglée de telle sorte, qu'elle équivaut à peu près à celle que les butoirs maintiennent entre les ressorts.

Ainsi, le circuit n'est ouvert que pendant une fraction de seconde si petite, qu'elle ne permet pas même le retrait de l'armature d'un relais récepteur mis au point de sa plus grande sensibilité. Pour qu'au retour du levier la même condition se représente, il faut donner une tension suffisante au ressort *x* qui le ramène.

L'autre levier N est semblable à M, sauf le remplacement

du butoir inférieur isolant p par une vis d'arrêt métallique z, nécessaire comme conducteur dans le cas où les deux piles sont en activité. Les ressorts k, g, k', g', les butoirs i, p, i' et z sont fixés contre une paroi métallique verticale dont ils sont isolés.

En suivant les communications sur la figure, on voit que, lorsque les deux manipulateurs sont au repos, le courant de la ligne peut arriver au récepteur Q et se rendre à la terre après l'avoir traversé : si le levier M est abaissé, le courant de la pile A passe seul sur la ligne ; si, au contraire, le levier N est abaissé, c'est le courant de la pile B qui est envoyé ; enfin, quand les deux leviers sont abaissés ensemble, le courant est produit par les deux piles, dont les pôles contraires sont réunis.

La pile B est composée de deux fois autant d'éléments que la pile A, de sorte que, si l'on désigne par I le courant obtenu dans le premier cas de la transmission, il sera 2 I dans le second et 3 I dans le troisième.

Les trois relais R′, R″, R‴ du récepteur, sont tous dans le circuit ; ils sont réglés de telle sorte que l'armature de R‴ ne peut être attirée que par un courant d'intensité égale au moins à celle que donnent les deux piles réunies ou 3 I, celle de R″, par un courant d'intensité égale à 2 I, et enfin celle de R, par le courant I.

Lorsqu'on transmet à l'aide du premier manipulateur, le relais R′ marche seul, ferme le circuit de la pile R, et fait fonctionner l'appareil écrivant X.

Si l'on abaisse le levier du second manipulateur, les armatures des relais R′ et R″ sont attirées, mais la pile R est enlevée du circuit de l'appareil X avant qu'il ait eu le temps de donner le signal. Pour obtenir ce résultat, M. Wartmann prolonge la tige de l'armature du relais R″, de manière qu'elle vienne toucher le bouton V avant que l'armature de R′ ait fermé le circuit de la pile locale ; ce qui est toujours

possible, bien que le mouvement de l'armature de R soit un peu plus rapide que celui de l'armature de R″, dont la sensibilité est moindre.

Par suite de ce contact, le circuit de la pile R se trouve fermé directement par l'intermédiaire des leviers de R‴ et de R″, et des boutons W et V; le courant ne passe donc plus dans l'appareil X. Le circuit de la pile locale U se complète d'ailleurs à travers l'appareil Y par le prolongement m de l'armature du levier R″ et un bouton métallique placé en face.

Lorsque le courant 3 I parcourt le récepteur, les trois armatures de R′, R″ et R‴ sont attirées, et les deux circuits des piles locales sont fermés à travers les appareils X et Y, la pile R étant rendue active par suite de la séparation de la tige du levier de R‴ et de la vis W.

On peut reconnaître qu'en passant d'une position des manipulateurs à l'autre, la transition s'opère tout naturellement dans les récepteurs, à part la rupture du circuit aux manipulateurs, rupture que M. Wartmann a rendue assez courte pour être sans influence.

M. Wartmann indique encore une autre disposition qui consiste à supprimer un des relais, et à rendre la tige de l'armature assez flexible pour toucher une vis sous l'influence d'un courant plus intense que celui qui produit l'attraction ordinaire; mais celle que nous venons d'indiquer nous paraît préférable.

L'appareil de M. Wartmann a été essayé au bureau télégraphique de Genève par M. Berzin, chef de ce bureau, et l'on a pu transmettre simultanément deux dépêches en signaux Morse, distinctes et lisibles.

Le procédé de transmission de plusieurs dépêches dans une même direction peut se combiner, comme l'a fait observer M. Wartmann, avec celui de la transmission simultanée en sens opposé. Il suffirait, pour réaliser cette double

transmission, de placer le récepteur Q sur le parcours du fil de la ligne, et de disposer autour de chacun des électro-aimants dont se compose ce récepteur, deux fils enroulés en sens contraire, l'un d'eux étant destiné à recevoir un courant local pour paralyser celui qui est envoyé sur la ligne.

On pourrait ainsi arriver à transmettre par un seul fil quatre dépêches en même temps, deux allant dans un sens et deux en sens contraire; et en étendant la combinaison proposée par M. Wartmann à plus de deux appareils, on aurait la solution la plus générale de la transmission simultanée; mais il est difficile d'y voir autre chose que la solution d'un problème intéressant et sans application possible dans la pratique.

Transmissions multiples.

Il arrive quelquefois, lorsqu'on a une même dépêche à répéter sur plusieurs lignes, qu'on ait avantage à disposer les appareils de manière que le même manipulateur puisse fournir une transmission multiple. Plusieurs systèmes ont été proposés dans ce but; mais le plus simple, suivant nous, est de disposer une clef à contacts multiples, mise en relation avec les différentes lignes. Une semblable clef n'a rien de difficile dans sa construction, puisqu'elle peut consister dans un cylindre de caoutchouc durci, soutenu par deux coussinets, et portant autant de leviers qu'il y a de communications à établir. Ces leviers pourraient d'ailleurs être disposés comme les clefs ordinaires, à cette différence près, qu'une lame de ressort servirait d'intermédiaire pour les contacts, et chaque levier correspondrait à une pile et à une ligne différentes. Le manche de l'appareil serait établi à l'une des extrémités du cylindre, et par son

intermédiaire on ferait fonctionner l'appareil comme une clef ordinaire.

En mettant à contribution les relais des différents récepteurs, et en les faisant fonctionner comme manipulateurs sous l'influence d'un courant local qui les traverserait tous, on pourrait, à l'aide d'une clef ordinaire, arriver au même résultat. Le problème peut, du reste, être résolu d'une foule de manières, et on n'a que l'embarras du choix.

Systèmes de transmissions télégraphiques entre plusieurs stations échelonnées sur la même ligne.

Le mode le plus élémentaire pour relier télégraphiquement les unes aux autres plusieurs stations échelonnées sur la même ligne, consiste à placer à chaque station un récepteur et deux sonneries avec deux commutateurs; l'employé qui reçoit un appel par l'une de ces sonneries met son appareil en communication avec le côté de la ligne d'où vient l'appel et reçoit la transmission qui lui est destinée, ou bien il établit la communication directe lorsqu'elle lui est demandée.

Ce procédé a l'inconvénient d'exiger l'intervention de tous les employés des postes intermédiaires et d'occasionner des pertes de temps considérables, la durée de la communication devant être fixée d'avance, ce qui ne peut jamais être fait exactement.

S'il n'existe qu'un seul poste intermédiaire sur le parcours du fil omnibus, on y installe quelquefois un appareil qui ne fonctionne que pour une direction déterminée du courant. Nous avons décrit ce système dans le tome III de notre exposé.

La translation fournit aussi une solution générale de la transmission sur les fils omnibus. Chaque poste étant muni de deux appareils montés en relais reçoit toutes les commu-

nications échangées sur la ligne, et peut appeler instantanément l'un quelconque des autres postes.

Voici encore d'autres dispositions qui ont leurs avantages et leurs inconvénients.

1° Le fil de la ligne étant continu entre les deux stations extrêmes, on peut, à chaque station, établir des dérivations de circuit à travers le manipulateur et le récepteur, et faire en sorte, au moyen de rhéostats ou de bobines de résistance, que tous les postes reçoivent un courant d'égale intensité.

Quand un des postes intermédiaires transmet, le courant se divise au point de jonction avec la ligne en deux parties, suivant les deux côtés, puis il se divise de nouveau à chaque bifurcation. Cette disposition a été essayée sans résultat avantageux.

2° On interpose tous les récepteurs dans le même circuit de ligne, et suivant qu'une station intermédiaire veut transmettre d'un côté ou de l'autre, elle coupe la ligne du côté où l'on ne transmet pas, tout en établissant la communication avec la terre. Avec cette disposition, il faut avoir soin d'employer pour la ligne de droite et la ligne de gauche des piles de force différente, car la résistance de ces deux lignes étant le plus souvent différente, le courant transmis n'aurait pas sans cela la même intensité. D'un autre côté, la coupure d'une ligne ne pouvant se faire sans entraîner une variation de résistance plus ou moins considérable dans la fraction isolée, fraction sur laquelle les stations peuvent cependant correspondre entre elles, on est obligé de disposer les commutateurs de manière à permettre l'introduction d'une résistance artificielle représentant celle de la ligne qui a été retranchée.

3° Les récepteurs des stations intermédiaires sont encore interposés dans la ligne, mais le fil de terre est supprimé à chaque station, de sorte que le circuit ne peut se compléter qu'aux stations extrêmes. Avec ce système, la résistance du

circuit reste, il est vrai, toujours la même, mais on a l'inconvénient d'avoir la ligne entière paralysée, lorsque deux quelconques des postes transmettent. D'ailleurs, les piles de toutes les stations ne pouvant avoir la même énergie, on n'évite pas pour cela les inconvénients du réglage des appareils.

M. Moulinot a aussi proposé, pour résoudre le problème de la transmission sur les lignes omnibus, de disposer les communications sur les manipulateurs de manière que les contacts produits, au lieu de mettre la pile du poste en rapport avec la ligne, aient pour effet d'établir la communication de la ligne avec la terre; alors les récepteurs fonctionnent toujours sous l'influence du courant fourni par la pile de la station où ils sont placés, et l'on a ainsi l'avantage : 1° que les dérivations par la ligne, au lieu d'être nuisibles, développent au contraire, dans les appareils, une plus grande force électrique; 2° que toutes les stations peuvent être appelées à la fois sans nécessiter une pile d'une force considérable, puisque chaque récepteur fonctionne sous l'influence de sa propre pile; 3° de fournir toujours des appels énergiques, les courants des diverses piles échelonnées sur la ligne pouvant s'additionner en traversant les sonneries; 4° de permettre, par la même raison, l'annihilation complète des courants accidentels lors des transmissions. Ce système est, comme on le voit, très-simple et très-ingénieux, et mérite d'être expérimenté.

Le moyen qui est en ce moment le plus étudié, est celui que fournit l'emploi de courants continus partant des stations extrêmes.

Avec ce système, les stations intermédiaires n'ont plus de pile, et les piles des stations extrêmes sont disposées de manière que leurs courants s'ajoutent; tous les manipulateurs et tous les récepteurs sont, bien entendu, interposés dans le même circuit. Mais les manipulateurs doivent être placés sur contact, pour que le circuit puisse passer d'une

manière continue à travers la ligne. Dans ce cas, les transmissions se font par rupture du circuit; mais la manipulation reste toujours la même.

Les avantages de ce système sont surtout d'éviter les inconvénients d'un réglage trop fréquent des appareils, et les inconvénients de la rupture des fils ne sont pas plus à redouter avec lui qu'avec les autres systèmes; car, dans ce cas, les courants des deux piles extrêmes constituent avec chaque tronçon de ligne un circuit spécial qui permet aux stations interposées de correspondre entre elles.

On peut disposer ce système d'une autre manière, en opposant l'une à l'autre les piles des deux stations extrêmes. Alors aucun courant ne circule dans la ligne et à travers les appareils, et la transmission ne peut se faire que par l'établissement de communications avec la terre. Ce système, patroné par MM. Minotto, Bardonnaut, Besse-Bergier, de Coincy, etc., présente de nombreux inconvénients. D'abord, il est très-difficile d'obtenir des piles assez égales en intensité pour fournir des courants susceptibles de s'annuler; mais les dérivations du courant le long de la ligne suffiraient à elles seules pour troubler cet équilibre, et le travail n'aurait plus lieu par une succession d'interruptions, mais bien d'affaiblissements du courant, condition beaucoup moins satisfaisante.

M. Feirich, ingénieur de la société autrichienne des chemins de fer de l'État, a fait l'essai de ce système sur plusieurs lignes télégraphiques en Autriche. Il l'a, du reste, complété, en ajoutant à chaque poste des bobines de résistance et un manipulateur à double contact, afin de rendre la résistance opposée des piles identique dans toutes les circonstances de la transmission.

Relais.

Bien que l'emploi des relais devienne plus rare par suite du perfectionnement des appareils télégraphiques, ils sont toujours l'objet des recherches des inventeurs, tant en France que dans les autres pays.

En Amérique, où les télégraphes sont encore à pointe sèche, et où, par conséquent, les relais sont indispensables, ces appareils ont été combinés d'une foule de manières, et affectent des formes et des dispositions des plus originales. Ainsi, il en est qui constituent des espèces de violons à deux cordes, et qui font assez de bruit pour qu'on puisse les utiliser comme télégraphes auditifs. De ces différents relais, nous ne parlerons que de ceux de MM. Bradley et Chester, qui sont les plus connus et les plus employés dans ce pays.

Quant aux relais imaginés ailleurs, nous décrirons seulement ceux de MM. Sambourg, Flouard, Aildaud, Normann, A. Guyot, Lippens.

Relais de M. Bradley.—Cet appareil, représenté figure 104, page 458, consiste dans un électro-aimant droit, placé verticalement, dont le noyau de fer se prolonge et se recourbe des deux côtés de la bobine, de manière à présenter l'une devant l'autre ses deux extrémités N et S. Son armature A, qui est une tige de fer de petit diamètre, et qui est soutenue par son centre à l'aide d'une lame de ressort très-flexible l, est disposée de façon à osciller entre les deux pôles prolongés N et S, lesquels sont à cet effet placés un peu de côté. Enfin, deux ressorts de rappel, inégalement tendus, réagissent sur cette armature de manière à la maintenir toujours à distance des pôles de l'électro-aimant et à la faire buter contre la vis d'arrêt. La vis de contact est d'ailleurs placée en face de celle-ci comme dans tous les relais. Les différentes couches de spires de l'électro-aimant sont

recouvertes de gomme laque et séparées par une feuille de papier. Toutefois, celles des spires qui se trouvent occuper la partie supérieure de la bobine et qui correspondent à chaque tiers de la résistance de celle-ci, se trouvent dénudées et mises en communication avec de petits contacts adap-

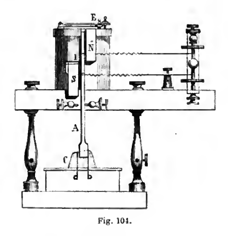


Fig. 104.

tés sur la rondelle supérieure de la bobine. Deux ressorts frotteurs E, articulés également sur cette rondelle et mis en rapport avec le circuit de ligne, appuient sur ces contacts, et, suivant qu'ils touchent tels ou tels d'entre eux, ils diminuent ou augmentent, dans une proportion déterminée, la résistance de l'hélice; de sorte qu'il devient facile d'appliquer ces relais à tous les circuits.

M. Bradley, comme je le disais, a fait avec ce relais un appareil pour recevoir au son, et à cet effet le levier oscille entre deux cordes vibrantes tendues sur une table d'harmonie, comme on le voit en C, figure 104.

Relais de M. Chester. — Ce relais consiste dans un électro-aimant tubulaire dont l'armature, très-courte et légèrement

bombée, est, à l'une de ses extrémités, maintenue appuyée sur le noyau de fer central par l'intermédiaire d'une lame de ressort. Du côté opposé à cette lame de ressort, la même armature porte une tige qui oscille entre deux vis butoirs portées par une pièce coudée dont une extrémité est articulée sur un pilier et dont l'autre correspond à un piston mobile dans un cylindre fermé.

Sous l'influence de l'attraction magnétique, l'armature bascule, en déprimant un peu le ressort qui la porte, relève le levier placé du côté opposé. Celui-ci rencontre bientôt la vis de contact, et celle-ci, au lieu d'être pour lui un obstacle rigide, détermine un mouvement du levier qui la porte, et, par suite, l'élévation du piston. Comme celui-ci, en s'élevant, rencontre une résistance croissante d'autant plus grande que la force qui est en jeu est plus énergique, cette résistance finit par s'opposer au mouvement de bascule de l'armature, et sert ensuite de repoussoir, quand le courant cesse de circuler à travers l'électro-aimant.

M. Chester prétend que ce système a l'avantage d'éviter les inconvénients du réglage ; mais il nous semble, à première vue, que ce problème pourrait être résolu d'une manière beaucoup plus sûre par une disposition plus simple.

Relais de M. Flouard. — Pour obtenir un relais sans réglage, M. Flouard a eu recours à un procédé analogue à celui de M. Queval, que nous avons décrit page 204. Seulement, au lieu d'adapter à l'électro-aimant la seconde hélice destinée à conduire le courant inverse qui doit détruire le soi-disant magnétisme rémanent, il l'adapte à l'armature elle-même, et fait communiquer les deux extrémités du fil à deux ressorts frotteurs fixés sur le levier basculant qui le porte et disposés de manière à réagir sur un commutateur à renversement de pôles. Il résulte de cette disposition deux effets opposés : 1° quand l'armature est éloignée de l'électro-aimant, le courant de la pile locale (qui traverse l'hélice

de cette armature) agit dans le même sens que celui de la pile de ligne et rend l'action attractive plus énergique; 2° quand l'armature est arrivée à l'extrémité de sa course, ce courant, étant renversé, tend à opérer la disjonction des deux pièces attirées, disjonction qui n'est obtenue, en raison de la faiblesse du courant local, que quand le courant de ligne n'anime plus l'électro-aimant.

Ce système a les mêmes inconvénients que celui de M. Queval, et ne peut fonctionner régulièrement sur les lignes à cause de l'intensité inégale des courants qu'elles transmettent.

Relais de M. Aihlaud. — Ce relais, comme le précédent, a été imaginé en vue d'éviter le réglage; mais, pour y parvenir, l'inventeur, au lieu de corriger le défaut physique en lui-même, n'a cherché qu'à mettre l'appareil à l'abri des effets de ce défaut en faisant en sorte qu'un excès d'intensité électrique pût déterminer une petite vibration de l'armature, suffisante pour diminuer cette intensité trop grande, mais pas assez grande pour empêcher les contacts des relais de se produire au moment des fermetures de courant.

Pour obtenir ce résultat, M. Aihlaud adapte sur le levier de l'armature de l'électro-aimant du relais une pièce munie de deux ressorts, qui oscille entre deux vis butoirs dont l'une produit les contacts électriques et l'autre un arrêt élastique du levier. Celui-ci est d'ailleurs terminé par une lame de ressort qui peut, quand l'appareil fonctionne avec de forts courants, rencontrer une vis butoir mise en rapport avec une dérivation du circuit de ligne ; le levier lui-même est en communication à la fois avec la pile locale et avec la terre. Or, voici ce qui résulte de cette disposition : quand le courant a une intensité convenable, le premier ressort établit les contacts sans difficulté, et le second ressort terminant le levier n'atteint pas la vis butoir qui pourrait conduire le courant de ligne à la terre. Les effets se produisent alors

comme avec les relais ordinaires ; mais, si le courant de ligne devient assez intense pour produire des effets de magnétisme rémanent nuisibles, la rencontre de ce dernier ressort avec la vis butoir correspondante a lieu, et le courant de ligne, en se dérivant à la terre, détermine avec celui passant à travers l'électro-aimant une vibration du levier, qui n'empêche pas, il est vrai, le contact du premier ressort de continuer à se faire, mais qui affaiblit considérablement l'intensité définitive du courant de ligne. Par suite, les effets nuisibles du magnétisme rémanent qui auraient pu résulter de cette plus grande intensité du courant se trouvent annihilés. Si le courant de ligne est très-faible, l'appareil fonctionnera également bien, car le relais a été réglé une fois pour toutes pour fonctionner avec ces courants, et les contacts du premier ressort s'effectueront toujours [1].

Relais de M. Abel Guyot. — Les inconvénients du réglage sont évités dans le relais de M. Abel Guyot au moyen de deux électro-aimants placés verticalement et d'un levier à double armature disposé de manière à pouvoir basculer au-dessus de ces électro-aimants comme le fléau d'une balance. A cet effet, ce levier porte deux vis butoirs qui touchent, quand l'appareil est inactif, deux lames de ressort placées au-dessus d'eux, et ces lames de ressort, par l'intermédiaire de deux butoirs, établissent la communication, avec la terre, d'une pile locale dont le courant traverse en même temps les deux électro-aimants. La communication de ces électro-aimants avec la pile locale n'a toutefois lieu que par l'intermédiaire des lames de ressort dont nous avons parlé, et cette communication est établie de telle manière, que la fermeture du courant à travers le second électro-aimant B, je suppose, n'a lieu que quand le ressort correspondant au premier électro-aimant A ne fournit plus de contact. L'inverse a lieu

1. Voir pour les détails de cet appareil les *Annales télégraphiques*, tome III, page 672.

pour le premier électro-aimant A, et cet effet se comprend d'ailleurs aisément, si l'on réfléchit que les contacts opérés par les ressorts, en fournissant une dérivation sans résistance au courant de la pile locale, empêchent celui-ci de passer par les électro-aimants.

Ces électro-aimants, du reste, sont en communication directe, l'un avec la ligne de droite, l'autre avec la ligne de gauche, et leur jeu s'effectue de la manière suivante :

Quand l'électro-aimant A devient actif sous l'influence du courant de ligne, la séparation du levier avec le ressort correspondant, que nous appellerons R, a lieu, et le courant de la pile locale passe alors dans l'électro-aimant B; mais comme l'armature de cet électro-aimant est alors beaucoup plus éloignée que celle du premier, l'action du courant local (s'il n'est pas trop énergique) est sans effet, et le relais fournit une fermeture du courant aussi prolongée que dure le courant de ligne. Quand celui-ci cesse, l'attraction exercée par l'électro-aimant B n'ayant plus à vaincre que le magnétisme rémanent de l'électro-aimant A, peut ramener l'armature de celui-ci à sa première position; et le contact du levier avec le ressort R ayant lieu de nouveau, l'électro-aimant B devient complétement inactif. Les mêmes effets se reproduiraient si le courant de ligne passait à travers l'électro-aimant B.

Relais de M. Renoir pour le télégraphe Hughes. — Voulant mettre à profit, pour les relais, le principe du télégraphe Hughes dans lequel l'action électrique n'a qu'à produire le détachement d'une armature, M. Renoir a imaginé un relais dont le système électro-magnétique est disposé exactement comme celui de l'appareil Hughes. Seulement, comme dans un relais simple il ne peut y avoir de mécanisme d'horlogerie pour remettre au contact de l'électro-aimant l'armature une fois détachée, il utilise à cette fonction le courant d'une pile locale qui passe dans les pre-

mières spires de l'hélice électro-magnétique, sous l'influence d'un contact électrique opéré par l'armature après son détachement de l'électro-aimant. Une fois revenue dans le voisinage des pôles de l'électro-aimant, cette armature y est maintenue par le magnétisme de l'aimant persistant, qui se trouve communiqué à l'électro-aimant, et sous cette influence le courant de la pile locale se trouve coupé.

Relais de M. Sambourg. — Pour obtenir avec les télégraphes écrivants de meilleurs contacts pour la translation, M. Sambourg fait opérer cette translation par les relais eux-mêmes, en les établissant à deux contacts. Pour assurer ces deux contacts qui doivent s'opérer simultanément, les deux vis appelées à les produire sont fixées sur une petite tige mobile autour de son centre ; de sorte que lorsque l'une des vis est touchée par le levier de l'armature des relais, la tige s'incline et l'autre contact peut se faire sûrement.

Ce genre de relais a été imaginé depuis longtemps, et nous sommes en vérité étonné qu'on lui ait donné le nom de relais Sambourg. Nous avons décrit, dans notre tome II, un relais de ce genre, construit par M. Mouilleron, qui fonctionnait très-bien, et la seule différence entre ce relais et celui qui nous occupe, c'est que le double contact était dans celui-là assuré par deux lames de ressort, tandis que dans celui-ci il est assuré au moyen d'une tige basculante.

Relais translateur de M. Normann. — M. Normann, de Naples, a eu l'ingénieuse idée d'utiliser l'uniformité de polarisation de l'armature des électro-aimants boiteux à la destruction des effets des courants de retour dans les relais translateurs. Pour cela, il appuie cette armature sur la branche sans bobine, et la fait osciller sur des couteaux en fer en contact avec cette branche. De cette manière, l'armature, la branche sans bobine et la culasse de l'électro-aimant, constituent une prolongation de l'extrémité polaire inactive de celui-ci, laquelle conserve une polarité contraire à celle du

pôle actif. Or, il résulte de cette disposition, que quand après une émission de courant à travers l'électro-aimant, un courant de retour vient à succéder, le magnétisme développé au pôle actif se trouve de même nom que celui qui reste développé dans l'armature alors repoussée, et tend à produire une répulsion de celle-ci, au lieu d'une seconde attraction. L'armature de ce relais est d'ailleurs sollicitée par deux ressorts antagonistes inégalement tendus, comme dans le système de M. Hipp.

Relais translateur de M. Lippens. — Pour éviter les inconvénients de la seconde attraction due au courant de retour dans la translation, M. Lippens emploie des relais à armatures aimantées, ayant néanmoins un ressort antagoniste. C'est tout simplement un électro-aimant dont les pôles sont prolongés, et entre lesquels oscille un barreau aimanté, pivotant sur son centre. Quand un courant traverse cet électro-aimant, le barreau est attiré d'un certain côté et produit le contact de la translation; quand ce courant cesse, le ressort antagoniste rappelle le barreau dans sa première position, qui établit la communication directe entre la ligne et le récepteur. Or, on comprend aisément que si un courant de retour vient passer à travers l'électro-aimant du translateur, ce courant étant de sens inverse au premier envoyé, tendra à maintenir le barreau dans la position que lui a déjà donnée le ressort antagoniste, au lieu de provoquer une seconde attraction eux-mêmes.

Dans ses relais doubles, M. Lippens établit la communication de la ligne de gauche et de la ligne de droite par l'intermédiaire des barreaux aimantés eux-mêmes.

Sonneries électriques.

Pendant longtemps les administrations télégraphiques avaient rejeté les sonneries trembleuses, sous le prétexte

qu'elles n'étaient pas susceptibles de fonctionner suffisamment bien avec les courants de ligne, et elles avaient toujours continué à employer les sonneries à mouvement d'horlogerie. Depuis trois ans cependant, l'emploi habituel des sonneries trembleuses dans les usages domestiques, a fait ouvrir les yeux aux télégraphistes, et aujourd'hui elles commencent à être employées sur beaucoup de lignes.

Il faut dire aussi que le problème des sonneries trembleuses n'est pas si simple qu'on pourrait le croire à première vue, et toute leur réussite n'a dépendu que de l'introduction d'un simple perfectionnement mécanique, dont plusieurs inventeurs ont revendiqué le principe, et qui a été dans ces derniers temps l'occasion d'un grand nombre de procès.

Cette question ayant pris un grand intérêt, nous croyons devoir y revenir, d'autant plus qu'on s'est souvent servi des termes dans lesquels j'ai parlé de ces sortes de sonneries dans mon troisième volume, pour soutenir les prétentions de tel ou tel; aujourd'hui que la vérité s'est fait jour, il importe que j'établisse nettement les faits.

L'application du rhéotome de Neef aux sonneries n'est pas nouvelle; elle remonte à une époque bien antérieure à celle où l'on a eu l'idée d'employer les sonneries trembleuses pour les usages domestiques; nous voyons en effet M. Siemens, en 1847, les employer pour son télégraphe à mouvements synchroniques (voir tome II, page 72), et plusieurs autres inventeurs avant lui les avaient déjà combinées dans des conditions beaucoup moins bonnes. D'où vient donc que ces inventions ne se sont pas répandues dès cette époque? On le comprendra facilement, pour peu qu'on suive la disposition du mécanisme de ces sortes d'appareils.

Dans l'interrupteur de Neef, la pièce contre laquelle bute l'armature de l'électro-aimant, et qui forme interrupteur en lui communiquant le courant, était rigide. C'était une espèce de vis qui pouvait servir en même temps à régler l'écart de

cette armature. Or, cette pièce ne pouvant suivre celle-ci dans une partie de sa course attractive, il en résultait d'abord des vibrations excessivement rapides, et en second lieu une très-petite amplitude dans les écarts de la pièce vibrante. On comprend aisément que dans ces conditions, le vibrateur de Neef ne pouvait être appliqué avantageusement aux sonneries, et c'est en cela qu'avaient échoué les sonneries trembleuses qui avaient précédé celle de M. Siemens.

Pour obtenir une plus grande course de l'armature, et par suite une plus grande oscillation du marteau de la sonnerie, M. Siemens eut l'idée d'appliquer au système de Neef, un mécanisme intermédiaire auquel il donna le nom de navette, et qui, se composant d'une pièce rigide munie de ressorts, oscillant entre deux butoirs de contact, permettait d'obtenir le prolongement des fermetures de courant, tout en diminuant le nombre des vibrations. L'appareil, grâce à ce perfectionnement important, put fonctionner d'une manière à peu près satisfaisante.

Mais il est facile de comprendre que l'introduction d'une pièce compliquée comme une navette à ressorts, et sur laquelle l'armature de l'électro-aimant devait réagir par l'intermédiaire d'un levier, rendait l'appareil peu pratique, dispendieux, et susceptible de nombreux dérangements. Il exigeait d'ailleurs une certaine force électrique pour fonctionner, et le marteau en frappant le timbre, ne produisait pas le coup sec et élastique nécessaire pour produire un bruit sonore. Le système avait donc besoin d'être considérablement perfectionné, pour avoir quelques chances d'être adopté dans les usages domestiques. Or, ce perfectionnement a été imaginé dans les conditions les meilleures et les plus simples, par M. Lippens, et la figure 105 ci-contre représente la sonnerie brevetée le 20 août 1850 par cet inventeur.

Pour augmenter la durée des contacts de l'interrupteur, et par suite, pour rendre les vibrations plus longues et moins

nombreuses, M. Lippens substitua au butoir rigide du rhéotome de Neef une lame de ressort F, qui pouvait suivre l'armature dans une partie de sa course; et pour fournir au coup de marteau cette élasticité nécessaire au développement

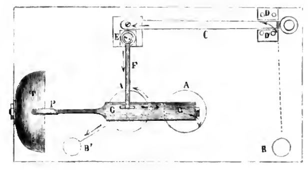


Fig. 105.

du son produit, il constitua l'armature elle-même avec une seconde lame de ressort de fer G, qu'il fixa sur l'un des pôles de l'électro-aimant. Cette double disposition de ressorts lui donnait en outre l'avantage d'entretenir mécaniquement la vibration, et de fournir de bien meilleurs contacts électriques[1]. Le problème s'est donc trouvé ainsi résolu de la manière la plus simple et la plus complète. Mais comme beau-

1. Voici le texte même du brevet :

« Si, prenant l'alidade C en repos sur la pièce de cuivre D, vous la faites glisser sur celle D', le circuit est établi; l'électricité passant par l'alidade, monte par la colonne E et *passe du ressort* F *dans celui* G, fixé lui-même à l'électro-aimant A. Le fluide passe ensuite dans le fil de cuivre qui s'y trouve soudé, en parcourt tous les replis pour sortir par le bouton d'attache B'.

« Dans cette action, l'électro-aimant attire le ressort vibrateur G ; mais cette attraction cessant aussitôt que le ressort F n'est plus en contact avec celui G, celui-ci va remonter, refermera le circuit, sera attiré de nouveau et ainsi de suite. »

coup de belles inventions, celle de M. Lippens devait être pour son auteur l'objet d'ennuis et de tribulations : le croirait-on d'un peuple aussi éclairé que le peuple belge, M. Lippens fut charivarisé pour son invention !!!... on le regardait comme un fou d'avoir cherché à substituer au mécanisme si simple des sonnettes, celui nécessairement plus compliqué qu'entraîne l'action électrique, et le pauvre inventeur, étourdi de ces tracasseries, laissa tomber son invention dans l'oubli et le domaine public.

Ce ne fut que trois ans plus tard, en 1853, que M. Mirand, associé à cette époque avec un architecte de Rouen, M. Parelle, voulant appliquer les sonneries électriques aux usages domestiques, arriva à combiner le système de sonnerie trembleuse aujourd'hui employé partout, et qui ne diffère en rien, du reste, de celui de M. Lippens. A cette époque, M. Mirand, pas plus que moi, n'avait eu connaissance de l'invention de M. Lippens, que celui-ci se gardait bien de mettre au jour, après ce qui lui était arrivé. L'inventeur français ne s'était en effet inspiré que d'un petit mécanisme trembleur, qu'il avait installé devant la boutique de M. Archereau (à cette époque établi boulevard Bonne-Nouvelle), pour attirer l'attention des passants. Ce mécanisme qu'il avait combiné lui-même sans connaître le rhéotome de Neef, n'était autre que le mécanisme des sonneries trembleuses d'aujourd'hui ; seulement il fonctionnait avec le courant d'une pile de Bunsen, et M. Mirand dut en changer la disposition, pour l'approprier aux courants de Daniell, quand il voulut en faire une sonnerie électrique domestique.

Depuis cette époque plusieurs mécaniciens ont construit des sonneries électriques, et il en est résulté, comme je le disais, un grand nombre de procès en contrefaçon. Mais ce qui est le plus curieux dans cette affaire, c'est que les premiers procès furent engagés par deux constructeurs qui n'avaient aucun droit à faire valoir. Ce ne fut qu'après plusieurs juge-

ments qui eurent pour conclusion la mise de l'invention dans le domaine public, que le successeur de M. Mirand recommença le procès en attaquant à la fois tous les constructeurs de sonneries électriques. Aujourd'hui l'affaire est complétement terminée, et il est ressorti de tout cela que M. Lippens est le véritable inventeur des sonneries trembleuses telles qu'on les emploie aujourd'hui.

Les sonneries télégraphiques à trembleur peuvent être divisées en deux catégories, les sonneries vibrant directement sous l'influence des courants de ligne, et les sonneries se déclanchant par l'effet d'un courant de ligne, et fonctionnant sous l'influence d'un courant local.

Ces deux sortes de sonneries sont employées par l'administration des lignes télégraphiques françaises, et sont appliquées, suivant qu'il est nécessaire d'avoir plus ou moins de bruit, et suivant que l'appel doit être passager ou prolongé.

Système de M. Lemoyne. — Quand il n'est besoin que d'un appel passager, on n'emploie qu'une simple trembleuse, et le modèle adopté par l'administration est celui que nous représentons figure 4, pl. 1, qui est dû à M. Lemoyne, inspecteur des lignes télégraphiques.

« Pour ne pas accroître le nombre des éléments des piles de longues lignes, nombre déjà assez considérable, dit M. Lemoyne, l'administration désirait que ces sonneries fussent aussi sensibles que les appareils qu'elles devaient remplacer, et qu'elles se missent en mouvement sous l'influence du même courant. Il a donc fallu employer des électro-aimants de grande dimension, pareils à ceux des récepteurs ; il a fallu aussi disposer leur armature (comme dans les récepteurs) de la manière la plus avantageuse, et la rapprocher de l'électro-aimant. L'amplitude de l'oscillation de cette armature étant diminuée, il a fallu régler avec plus de soin celle du ressort interrupteur, et celle du marteau qui frappe sur le timbre. Cette sonnerie *à grande résistance* est devenue

ainsi de toute nécessité un appareil de précision qu'il fallait construire avec soin et dans de bonnes conditions.

« Aussi l'électro-aimant a-t-il été monté verticalement, et d'une manière stable sur une platine métallique. Le levier-armature a été soutenu horizontalement par des pivots placés sur une colonne verticale. Enfin le timbre, au lieu d'être monté sur la boîte, se place sur une tige fixée sur la platine, de sorte que toutes les pièces constituant la sonnerie sont maintenues dans une position invariable, quels que soient les mouvements de la boîte de bois qui l'entoure et la supporte. »

Pour les appels de nuit, qui doivent être assez forts et assez prolongés pour réveiller l'employé, on a adopté des sonneries à déclanchement, dont le modèle a été très-varié.

Quel est celui qui a construit le premier ces sortes de sonneries? Il serait assez difficile de le préciser. Dès l'année 1853 j'en avais imaginé une de cette nature pour mon système de moniteur électrique des chemins de fer; il est vrai que j'employais deux électro-aimants, l'un formant en quelque sorte un relais déclancheur, l'autre qui était appliqué au vibrateur. Plus tard, M. Faure employa un système analogue, mais spécialement affecté aux sonneries télégraphiques. Enfin, en 1859, M. Aubine présenta à la société d'encouragement le modèle qui est maintenant adopté, et dont la disposition a du reste été variée par M. Cuche et autres.

Système de M. Aubine. — Le progrès réalisé par M. Aubine dans ces sortes de sonneries a été l'attribution à un même électro-aimant des fonctions de relais déclancheur et de vibrateur. (Voir fig. 106 ci-contre.)

Pour obtenir ce résultat, M. Aubine adapte à l'armature articulée de l'électro-aimant d'une trembleuse ordinaire, une dent sur laquelle vient appuyer un levier articulé, sans cesse sollicité à s'abaisser par l'action d'un ressort. Ce levier articulé est placé entre deux ressorts, dont l'un est en com-

munication avec le fil de la ligne, et l'autre avec la pile locale de la station où se trouve la sonnerie ; enfin, le levier lui-même communique avec celui des ressorts du trembleur qui appuie contre l'armature de l'électro-aimant dont le fil est d'ailleurs en rapport avec la terre.

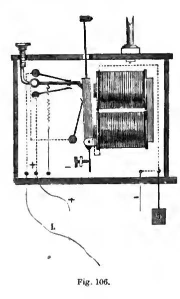


Fig. 106.

Quand le levier articulé est soutenu par la dent de l'armature de l'électro-aimant, il touche le ressort supérieur, et par cela même, la sonnerie est introduite dans la ligne. Sous l'influence du courant envoyé de la station correspondante, l'armature se trouve attirée et le levier articulé, en se dégageant de la dent qui le retenait, tombe sur le ressort inférieur. La sonnerie change alors de circuit, et au lieu de rester interposée dans le circuit de la ligne, elle se trouve introduite dans le circuit fermé de la pile locale dont le

courant a cette fois l'énergie nécessaire pour la faire vibrer avec force.

L'innovation dans cet appareil n'est donc simplement, par le fait, que l'addition d'un rhéotome permutateur à la sonnerie ordinaire. Pour mettre cet appareil en état de fonctionner, il suffit, après chaque appel, d'armer le levier articulé du rhéotome, ce qui est facile à l'aide d'une pédale placée extérieurement sur la boîte renfermant l'appareil.

Sonnerie de MM. Gaussin et Viney. — Cette sonnerie, qui est fondée à peu près sur le même principe que celle dont nous venons de parler, est surtout curieuse par les effets qu'elle réalise.

Elle consiste dans un double électro-aimant boiteux, disposé de manière que la branche sans bobine soit commune

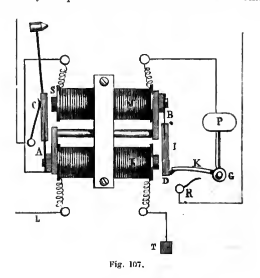


Fig. 107.

aux deux électro-aimants, et que leur pôle énergique soit placé en sens inverse l'un de l'autre, comme on le voit

fig. 107 ci-contre. Sur les deux culasses de fer A et B, sont montées par l'intermédiaire de lames de ressort, deux armatures C et I, dont l'une, C, constitue le vibrateur, et l'autre, I, le déclancheur. Celle-ci est munie à cet effet d'une dent D, sur laquelle appuie le levier K qui porte sur son axe d'articulation la plaque de réponse P. Le ressort R, placé au-dessous, établit la communication entre la pile locale et la bobine M, qui est enroulée avec du fil de moyenne grosseur. La bobine N au contraire est munie de fil très-fin, fournissant une résistance de 100 à 150 kilomètres, et se trouve mise en rapport avec le circuit de la ligne. Dès que le courant de ligne vient à passer à travers cette bobine N, l'armature I est attirée et déclanche le levier K, qui, en fermant le circuit de la pile locale sur le ressort R, fait fonctionner le vibrateur représenté par l'armature C. Avec cette disposition, le magnétisme rémanent, si nuisible aux effets électro-magnétiques, se trouve complétement détruit ; ce qui permet d'augmenter sans inconvénient la sensibilité de l'appareil. On peut se rendre compte de la destruction du magnétisme rémanent, de la manière suivante : Si l'on fait fonctionner l'appareil sans pile locale, et qu'on cherche à faire fonctionner plusieurs fois de suite l'armature I, on trouve que le magnétisme rémanent empêche le renclanchement du levier K ; mais si l'on a soin de faire passer seulement une fois le courant de la pile locale, ce renclanchement s'opère parfaitement, et, chose extraordinaire en apparence, il se fait aussi bien, quel que soit le sens du courant de la pile locale à travers la bobine M. L'explication de cet effet, quand les polarités déterminées par les deux courants sont différentes, n'a rien de bien difficile ; mais dans l'autre cas, elle est beaucoup plus embarrassante. Voici néanmoins comment je me suis rendu compte du phénomène : quand la bobine N, sous l'influence du courant de ligne, développe vis-à-vis de l'armature I un pôle nord, je suppose, toutes les branches en dehors

de cette bobine sont polarisées sud ; de sorte que si l'on fait naître, au moyen du courant de la pile locale, un pôle nord dans la bobine M vis-à-vis de l'armature C, il tendra à se développer dans toutes les branches en dehors de M, une polarité sud qui détruira le magnétisme rémanent de la branche N. En revanche la branche intermédiaire sans bobine restera avec une faible polarité sud. Si au contraire on fait naître dans la bobine M une polarité sud vis-à-vis l'armature C, une polarité nord se développe dans tout le système extérieur, et la polarité sud de la branche intermédiaire se trouvera détruite à son tour ; la polarité nord rémanente de la branche N, en s'étendant sur la branche intermédiaire passée à l'état neutre, se trouve d'ailleurs en partie dissimulée. Il résulte donc de cette disposition que, suivant le sens du courant à travers la bobine M, l'un ou l'autre des deux pôles agissant sur l'armature I, se trouve perdre son magnétisme rémanent, et par conséquent l'effet doit rester le même ; il est vrai que l'un de ces pôles est plus énergique que l'autre, mais comme l'armature est toujours plus rapprochée du pôle le plus faible, il y a compensation.

Sonnerie télégraphique de M. Lippens. — Peu de temps après la prise de son brevet, M. Lippens chercha à appliquer aux télégraphes le système de sonnerie dont nous avons parlé, et qu'il modifia un peu en réduisant à un seul les deux ressorts agissant sur l'armature. Pour cela, il fixait sur une colonne de cuivre, à côté de l'électro-aimant, une lame de ressort sous laquelle il adaptait l'armature de celui-ci et dont le bout libre, en rencontrant une pièce de contact, constituait le rhéotome. Cette sonnerie était établie dans une petite boîte au devant de laquelle se trouvait le cadran d'une boussole électro-magnétique, dont l'aiguille oscillait entre les pôles d'un deuxième électro-aimant. Enfin un parafoudre, composé de deux lames métalliques séparées l'une de l'autre par une mince feuille de papier, était adapté au

fond de la boîte, et ces trois appareils communiquaient à deux commutateurs placés sur les côtés de la même boîte, de manière qu'on pût introduire à volonté dans le circuit, soit la sonnerie, soit le parafoudre, soit la boussole. Ce système a même été essayé dans le temps en Belgique, et avait fort bien réussi.

Système télégraphique susceptible d'être appliqué en Chine, par M. le comte d'Escayrac de Lauture.

M. le comte d'Escayrac de Lauture, partant de ce fait que l'écriture chinoise peut toujours être décomposée en deux classes de signaux élémentaires, appelés les uns des radicales, les autres des phonétiques, prétend qu'à l'aide des signaux télégraphiques Morse combinés six par six sur deux lignes et transmis par l'un ou l'autre des systèmes dont nous avons parlé dans nos différents volumes, on pourrait transmettre les caractères si multipliés de la langue chinoise, et cela avec une promptitude trois fois plus grande qu'avec la langue française, la langue chinoise exigeant beaucoup moins de caractères pour exprimer une idée qu'aucune des langues connues.

Pour arriver à cette transmission des caractères chinois, M. d'Escayrac a dressé un tableau dans lequel sont rangées, dans une série de carrés dont la position est déterminée, les 1,388 principales phonétiques et les 214 radicales les plus usitées, et emploie les différentes combinaisons, six par six, des signaux Morse (qui peuvent être au nombre de 4,096), pour désigner la position sur ce tableau de celles de ces différentes radicales et phonétiques qui entrent dans les caractères que l'on veut transmettre.

Cette désignation est d'ailleurs facile, car les quatre signaux élémentaires de Morse (avec le système sur deux lignes), qui sont le point à gauche, le point à droite, le trait

à gauche, le trait à droite, peuvent être affectés, le premier à la désignation des radicales, le second à la désignation des phonétiques, le troisième à la désignation de signaux conventionnels; et les signaux eux-mêmes, étant rangés quatre par quatre dans des carrés qui font partie d'autres carrés, lesquels sont à leur tour inscrits dans des carrés plus grands, peuvent être facilement indiqués. La séparation plus ou moins grande des signaux élémentaires Morse peut indiquer d'ailleurs la nature de la liaison des caractères chinois simples entre eux.

Nous n'insisterons pas davantage sur ce système, qui appartient plutôt à une question de vocabulaire télégraphique qu'à une question télégraphique, nous nous contenterons de renvoyer le lecteur à la brochure que M. d'Escayrac de Lauture vient de publier sur ce sujet, et qui est intitulée : *De la transmission télégraphique des caractères chinois*.

Cryptographes pour la télégraphie électrique.

Dès l'origine de la télégraphie, on a cherché les moyens de rendre secrètes certaines dépêches des gouvernements, et on a employé pour cela divers moyens en rapport avec les systèmes télégraphiques employés. La plus simple méthode est de changer l'interprétation des lettres alphabétiques, en les soumettant à une clef déterminée, variable suivant le caprice de ceux qui en font usage. C'est le moyen qu'on emploie le plus souvent ; mais il est facile de comprendre que si la même lettre a la même interprétation dans tout le cours d'une dépêche, il sera possible, avec de l'habitude et de la perspicacité, de finir par deviner la clef et de lire la dépêche. Plusieurs personnes ont cherché à écarter cet inconvénient par des combinaisons numériques et mécaniques plus ou moins ingénieuses, et parmi elles nous citerons MM. Regnard, Wheatstone et Mouilleron. Nous avons longuement

décrit, dans notre quatrième volume, le système de M. Regnard. Il nous reste à parler de celui de M. Wheatstone, qui a pour interprète un petit mécanisme renfermé dans une espèce de petite tabatière, et celui de MM. Mouilleron et Gaussin, qui a été établi sur deux modèles différents.

Premier système de MM. Mouilleron et Gaussin. — Dans le grand modèle, l'appareil mécanique, destiné à réaliser la traduction et la composition de la dépêche, se compose essentiellement d'une espèce de tambour constitué par cinq systèmes de doubles bandes de cuir, sur lesquelles sont inscrites les différentes lettres de l'alphabet. L'une des bandes de chacun de ces systèmes est fixe, l'autre est mobile sur deux poulies et forme une espèce de courroie continue sur laquelle se trouvent imprimés deux alphabets complets ; de telle sorte qu'en la faisant tourner dans un sens ou dans l'autre, on peut toujours amener au-dessous des lettres de l'alphabet fixe inscrit sur la première bande, les lettres de l'alphabet mobile, et cela dans un ordre qui peut être déterminé. Ce mouvement de chaque bande mobile est obtenu au moyen d'une roue d'engrenage que l'on tourne à l'aide d'une manivelle, et qui n'a d'action que sur celui des systèmes de bandes qui se présente devant l'observateur; encore faut-il, pour que cet effet ait lieu, que l'on repousse un ressort embrayeur au moment même où l'on tourne la manivelle.

Le tambour constitué par ces cinq systèmes de bandes est mis en mouvement lui-même par une roue à rochet sur laquelle réagit un encliquetage que l'on manœuvre à l'aide d'une pédale. Par ce moyen, on peut faire arriver successivement devant un guichet les différents systèmes de bandes, qui, pour qu'on ne les confonde pas, portent un numéro d'ordre.

Tout ce mécanisme est monté sur un pupitre; de telle sorte que sans qu'on ait à se déranger on peut composer les dépêches dans des conditions qui les rendent indéchiffrables

et les traduire ensuite. Voici maintenant comment on se sert de cet appareil.

On choisit pour clef un mot de cinq lettres dont on convient d'avance ou qu'on transmet d'une manière indirecte en convenant que ce mot sera le deuxième ou le troisième d'une dépêche. Par exemple, on dira, je suppose : *Je partirai de Paris à la fin du mois.* Si on est convenu que le mot de la clef est le troisième, *Paris* sera précisément ce mot dans la dépêche en question. Alors on écrira sur une feuille de papier, et l'un au-dessous de l'autre, deux alphabets en sens inverse comme ci-dessous :

a b c d e f g h i j k l m n o p q r s t u v w x y z
z y x w v u t s r q p o n m l k j i h g f e d c b a

puis on prendra pour lettres de la clef, celles qui correspondent aux lettres du mot Paris dans l'alphabet du dessous; ce seront *k, z, i, r, h*. On placera alors les alphabets mobiles de l'appareil de manière que les lettres *k, z, i, r, h* correspondent à la lettre A de chaque alphabet fixe. L'appareil sera ainsi mis à la clef, et il ne s'agira plus, pour composer la dépêche, que de noter celles des lettres de l'alphabet mobile qui correspondent aux lettres de l'alphabet fixe entrant dans cette dépêche, en ayant soin de faire tourner d'un cran, après chaque lettre notée, le tambour portant les alphabets. Voici un exemple. Supposons qu'il s'agisse de transmettre la phrase suivante : *La victoire est à nous*, sur la clef *Paris*. La composition de la dépêche sera :

Vz dzjdnqil orb r nyta.

Dans la phrase originale, les lettres *a, i, o, t, s* se répètent deux fois, et dans la traduction la première de ces lettres est représentée par *z* et *r*, la seconde par *z* et *q*, la troisième

par *n* et *y*, la quatrième par *d* et *b*, et la cinquième par *r* et *a*.

Pour traduire une dépêche envoyée, on dispose comme précédemment les alphabets mobiles sous les alphabets fixes, par rapport à la clef qui a été transmise, et on lit sur les alphabets fixes les lettres des alphabets mobiles qui entrent dans la dépêche.

Nouveau cryptographe de MM. Viney et Gaussin. — Depuis la construction de l'appareil précédent, MM. Viney et Gaussin ont imaginé un nouveau système de cryptographe de dimensions beaucoup plus petites, fournissant des dépêches encore plus indéchiffrables, et dont on peut du reste augmenter à volonté les difficultés d'interprétation.

Ce système se compose essentiellement : 1° d'un cadran mobile sur lequel sont inscrites les lettres de l'alphabet, 2° d'un disque en verre dépoli placé au-dessus de ce cadran et mobile avec lui, 3° d'une roue des types analogue à celle des télégraphes imprimeurs, placée sur le même axe que le cadran mobile et disposée de manière que les types en relief et les lettres du cadran se correspondent, 4° enfin d'un cadran extérieur enveloppant le cadran mobile, lequel doit rester fixe pour la composition d'une même dépêche, mais qui peut être déplacé, quand on veut changer l'ordre des lettres pour plusieurs dépêches consécutives. Un tampon imprimeur, un rouleau encreur et un laminoir entraînant une bande de papier en provision sur un rouleau, complètent le système. Cette dernière partie de l'appareil ressemble, du reste, complétement au mécanisme imprimeur des télégraphes de ce genre, sauf que c'est une pédale ressortant en dehors de l'appareil, et sur laquelle on appuie le doigt, qui est substituée au levier imprimeur de ces derniers appareils. Voici maintenant comment on fait usage de cet appareil.

On prend pour clef un mot quelconque dont le nombre de lettres est d'ailleurs indéterminé, puis on inscrit au crayon

sur le disque de verre dépoli, et au-dessus des diverses lettres du cadran mobile, une série de numéros d'après l'ordre dans lequel se présentent les lettres dans le mot de la clef. Supposons, pour fixer les idées, que ce mot soit *Paris*. On inscrira le n° 1 au-dessus du *p*, le n° 2 au-dessus de l'*a*, le n° 3 au-dessus de l'*r*, le n° 4 au-dessus de l'*i*, le n° 5 au-dessus de l'*s*. Un repère étant marqué au-dessus du cadran fixe, il ne s'agira plus, pour composer la dépêche, que d'amener successivement devant les différentes lettres du cadran fixe qui composent la dépêche, celles du cadran mobile qui sont placées sous les numéros inscrits sur le disque de verre, et cela dans leur ordre numérique. Une fois ces lettres arrivées dans la position qu'elles doivent avoir, on appuiera le doigt sur le mécanisme imprimeur, et les lettres qui composent la dépêche traduite se trouveront ainsi successivement imprimées sur la bande de papier. Prenons pour exemple la phrase : *Venez à mon secours*, et supposons que le mot de la clef est *Paris*. Au moment où l'on commencera à composer la dépêche, le cadran mobile devra être placé devant le repère fixe, c'est-à-dire de manière que le blanc de la roue des types se trouve devant le tampon imprimeur; mais le cadran, qui doit rester fixe pendant la composition de la dépêche, pourra être placé de telle manière qu'on voudra : par exemple, la lettre P, ou la lettre M, ou la croix, pourront correspondre au repère; seulement, il faudra qu'on en soit averti, Les n°s 1, 2, 3, 4 et 5 de la clef étant inscrits sur le disque de verre dépoli, ainsi qu'on l'a vu plus haut, on fera arriver successivement devant les lettres V, E, N, E, Z du cadran fixe, les n°s 1, 2, 3, 4 et 5, et à chaque déplacement du cadran mobile on appuiera sur le mécanisme imprimeur, puis on amènera le cadran mobile au repère pour l'impression du blanc, et on recommencera pour les autres mots de la dépêche de la même manière. Ainsi on amènera le n° 1 devant l'A du cadran fixe, puis on

imprimera le blanc, puis on fera arriver le n° 2 devant l'M, puis le n° 3 devant l'O, etc., etc., en recommençant après l'épuisement de chaque série de numéros une nouvelle série. Les croix des deux cadrans étant placées devant le repère, la dépêche précédente donnerait, avec la clef *Paris* :

UWDDT O OCV SKQCOAX.

On comprend combien, avec cette méthode, il est facile de compliquer les combinaisons, puisqu'on peut les faire varier, non-seulement par les mots de la clef, mais par les nombres de lettres qui les composent, et par la position du cadran fixe, qui peut à elle seule fournir vingt-huit combinaisons différentes.

Pour traduire une dépêche composée d'après cette méthode, il ne s'agit que d'opérer d'une manière inverse. On inscrit d'abord les numéros de la clef sur le verre dépoli, et on les fait arriver successivement devant les différentes lettres du cadran fixe correspondantes à celles qui composent la dépêche, puis on imprime chaque fois, comme on l'avait fait pour la composition de cette même dépêche. On obtient alors, imprimée en lettres romaines, la phrase :

VENEZ A MON SECOURS.

Cryptographe de M. Wheatstone. — M. Wheatstone a aussi combiné un cryptographe indéchiffrable, qui est surtout remarquable par sa simplicité. Il se compose uniquement d'une petite boîte de la taille d'une tabatière, dans laquelle se trouve adaptée une espèce de minuterie qui a pour effet de faire tourner autour de deux cadrans concentriques, portant les différentes lettres de l'alphabet, deux aiguilles disposées comme dans une pendule. Cette minuterie est combinée de manière qu'à chaque tour du cadran l'une des aiguilles soit en retard sur l'autre d'une division, c'est-à-dire d'une

lettre, et de plus les lettres des cadrans, imprimées sur de petits carrés de carton, peuvent être déplacées à volonté. Or, il est facile de comprendre qu'avec cette disposition il suffit, pour obtenir une dépêche indéchiffrable, de pointer successivement l'une des aiguilles sur les différentes lettres (du cadran correspondant) qui entrent dans la dépêche, en ayant soin, après chaque pointage, de faire accomplir un tour complet à l'aiguille, et de noter les différentes lettres désignées par l'autre aiguille sur le second cadran. En dérangeant l'ordre des lettres sur ce dernier cadran et d'après un système convenu d'avance, il devient impossible, sans instrument, de pouvoir déchiffrer des dépêches ainsi composées. Quant à leur traduction, elle s'effectue en faisant précisément l'inverse de ce qui avait été fait primitivement, c'est-à-dire en portant successivement la seconde aiguille sur les différentes lettres (du second cadran) correspondantes à celles de la dépêche transmise, et en lisant les indications fournies par la première aiguille sur l'autre cadran.

APPENDICES

APPENDICES AU CHAPITRE I

SUR LES GÉNÉRATEURS D'ÉLECTRICITÉ.

Pile de M. Vergnes. — Voulant donner à la pile de Bunsen plus de durée et une dépolarisation plus complète, M. Vergnes a disposé cette pile de la manière suivante :

Au lieu d'un simple vase poreux, il en emploie deux qu'il place l'un dans l'autre. Mais le plus petit, qui est en porcelaine dégourdie, plus cuite que celle de l'autre, n'a pas de fond, et se termine supérieurement en forme de flacon, afin qu'on puisse le boucher hermétiquement avec un bouchon de verre. Ce dernier vase est rempli de morceaux de coke concassés et brillants, qu'on choisit le plus calcinés possible, et l'intervalle annulaire entre ce vase et le premier est occupé par de petits morceaux de coke granulé et très-poreux tassés fortement de manière à maintenir les deux vases en parfaite union; une lame de platine repliée, traversant ces deux couches de coke, ressort à l'extérieur pour constituer l'appendice polaire.

Cette pile peut se charger avec les liquides ordinaires de la pile de Bunsen, mais pour empêcher les émanations nitreuses, M. Vergnes substitue à l'acide nitrique une solution de bichro-

mate de potasse mélangée avec une solution de chlorate de potasse et de l'acide sulfurique saturé de peroxyde de manganèse.

La composition de ce liquide doit être faite dans les proportions suivantes [1] :

Solution de bichromate de potasse....	16	parties.
— de chlorate de potasse......	1	—
Acide sulfurique manganésé........	4	—

Le liquide excitateur est toujours, d'ailleurs, de l'eau acidulée au dixième, et les zincs doivent être fortement amalgamés.

Suivant M. Ailhaud, cette pile aurait les avantages suivants :

1° Son action serait constante pendant au moins une semaine avec un circuit fermé ;

2° Son intensité serait supérieure à celle des piles de Grove et de Bunsen;

3° La consommation des liquides serait très-minime et très-peu dispendieuse;

4° Elle ne produirait aucune émanation nuisible.

Ces avantages résulteraient de l'action de l'air emprisonné dans le vase intérieur sur le liquide imprégnant les charbons, action qui aurait pour effet de dépolariser d'une manière beaucoup plus complète l'électrode négative par suite de l'absorption de l'hydrogène sur une très-grande surface.

Le liquide dépolarisant doit être versé dans le vase poreux extérieur de manière à dépasser un peu le niveau de la couche de coke, et quelques gouttes doivent être également versées dans le vase intérieur afin de rendre l'action plus prompte.

1. Voir les détails de la fabrication de ce liquide dans les *Annales télégraphiques*, tome V, page 190.

M. Vergnes emploie pour amalgamer ses zincs, un moyen particulier que nous croyons devoir signaler, bien que nous préférions le liquide amalgamant de Berjot.

« On prend, dit-il, cinq parties de plomb et une de mercure ; on fait fondre le plomb, et quand il est fondu, on le recouvre d'une couche grasse de suif et de résine ; on le laisse alors refroidir, puis on verse le mercure ; on agite le mélange, et lorsqu'il est complétement refroidi, on obtient une espèce de pâte qui a la consistance de la cire molle, et avec laquelle on recouvre les zincs. Il ne s'agit plus alors pour amalgamer ceux-ci, que de les frotter avec une brosse. »

Pile de M. Minotto. — Cette pile n'est autre chose qu'une pile de Callaud, dans laquelle la séparation des deux liquides est obtenue d'une manière plus efficace par l'intermédiaire d'une couche de sable. Pour obtenir ce résultat, M. Minotto remplit le fond du vase de verre de la pile avec une couche assez épaisse de sulfate de cuivre concassé, et en partie pulvérisé, et surmonte cette couche d'une autre couche de sable fin, sur laquelle il appuie le zinc. De l'eau versée avec précaution sur cet ensemble de matières poreuses, et remplissant le vase, charge la pile à la manière d'une pile de Daniell ordinaire.

Cette disposition ressemble, comme on le voit, à celle de M. Siemens que nous avons décrite page 72 ; mais elle nous paraît beaucoup moins heureuse, car pour recharger une pile de ce genre, il faut enlever le sable, et c'est une opération sale et ennuyeuse. Cette pile, suivant M. Bréguet, est d'une grande constance, reste longtemps chargée et s'use peu.

Pile de M. E. Denys. — Ayant constaté par une expérience décisive que la constance du courant dans une pile de Daniell est due à l'action de l'hydrogène résultant de la décomposition de l'eau sur l'oxyde de cuivre du sulfate et à l'action dissolvante de l'acide sulfurique mis en liberté sur l'oxyde de zinc formé à l'électrode positive, M. Denys a eu l'idée de

constituer une pile avec ces deux éléments, et voici comment il dispose alors les choses.

Il prend les différentes pièces composant un élément de Daniell ordinaire, c'est-à-dire un vase extérieur en verre, un tube poreux, une mince lame de cuivre et un zinc recourbé en cylindre. Il place le cuivre dans le vase poreux, et remplit celui-ci d'eau acidulée par quatre ou cinq pour cent d'acide sulfurique; puis il y dépose 80 ou 100 grammes d'oxyde noir de cuivre (bioxyde). Enfin il verse de l'eau aiguisée de quelques gouttes d'acide sulfurique dans le vase extérieur où plonge le zinc. Dans ces conditions, l'élément est mis immédiatement en action, et cette action, suivant l'auteur, est un peu plus énergique que celle d'un élément Daniell, tout en en ayant la constance et la régularité.

Voici comment M. Denys énumère les avantages de sa pile :

« 1° Dans la pile de Daniell, dit-il, le zinc étant en présence d'un liquide saturé de sulfate de cuivre, quoique séparé de lui par une cloison poreuse, réduit, par suite de l'endosmose, une grande quantité de sulfate en pure perte. Avec la nouvelle pile, les choses pouvant être ménagées de telle sorte que le sulfate formé soit en très-faible quantité, il n'y a presque pas de réduction directe en dehors de celle qui résulte du courant.

« 2° Il ne se forme pas de dépôts de cuivre réduit dans la pâte des vases poreux.

« 3° La surface du zinc restant plus nette, il y a moins de résistance au passage du courant, et cette circonstance permet de faire usage de zinc fondu, toujours moins cher que le zinc laminé.

« 4° Si l'on réfléchit que le sulfate de cuivre contient cinq équivalents d'eau qui sont sans valeur, on trouve qu'il y a économie à se servir de l'oxyde et de l'acide qui seuls sont actifs. »

Pour obtenir économiquement l'oxyde de cuivre, M. Denys

emploie tous les fragments de cuivre rejetés comme ferraille, et particulièrement ceux qui constituent les dépôts des piles de Daniell, il les introduit dans un tube en terre réfractaire, et les soumet pendant plusieurs heures à une chaleur rouge. Sous cette influence calorifique, une couche plus ou moins épaisse d'oxyde de cuivre se détermine à la surface de ces fragments, et il suffit de triturer ceux-ci dans un mortier avec de l'eau, pour détacher entièrement cette couche d'oxyde qui peut être employée dans cet état ou transformée en bioxyde par une nouvelle calcination.

Pour que la pile soit dans de bonnes conditions de charge, il faut que le liquide possède la teinte bleue que nous connaissons; quand il la perd, il suffit d'ajouter quelque peu d'acide (3 ou 4 pour 100), et on peut renouveler cette opération jusqu'à ce qu'il ne reste plus d'oxyde. Cent grammes d'acide sulfurique correspondent à une consommation d'environ 70 grammes d'oxyde.

APPENDICES AU CHAPITRE II.

SUR LES CABLES SOUS-MARINS

Nous avions promis, page 136, de donner dans nos Appendices un résumé du rapport de la commission anglaise chargée de l'enquête sur la construction des câbles télégraphiques sous-marins. Ce rapport étant très-volumineux, nous nous contenterons de parler des points qui peuvent le plus intéresser nos lecteurs, et nous donnerons *in extenso*, comme complément, le mémoire de M. Wheatstone, qui est excessivement remarquable.

Le rapport de la commission dont nous parlons se divise en trois parties :

La première n'est qu'un aperçu historique sur les principales lignes télégraphiques qui ont été établies.

La seconde indique les résultats des expériences faites en vue de la construction et de la pose des câbles.

La troisième pose les principes qui devront diriger à l'avenir les entreprises des câbles sous-marins.

La première partie n'étant qu'une amplification détaillée de ce que nous avons dit déjà dans nos précédents volumes, nous n'en parlerons pas davantage; mais en revanche nous insisterons sur la seconde, qui offre des renseignements du plus haut intérêt, non-seulement pour le télégraphiste et le constructeur, mais pour le physicien. Cette partie est divisée en trois chapitres qui traitent séparément du conducteur, de l'isolateur, de l'enveloppe protectrice et de la force.

Du conducteur. — Au sujet du conducteur, le rapport de la commission passe en revue les différents défauts que présentent les conducteurs à un seul fil de cuivre, et ceux composés d'un faisceau de fils réunis en corde; il montre que les premiers péchaient tous par les joints et par le défaut d'homogénéité du cuivre, lequel, présentant des parties dures et des parties molles, était sujet à se rompre ou à subir un étirement inégal, susceptible parfois de provoquer la déchirure de l'enveloppe isolante par suite du retrait inégal des deux corps juxtaposés. Il montre ensuite que le faisceau de fils de cuivre a l'inconvénient, lorsqu'un des fils qui le composent vient à se rompre, d'entraîner une perforation de l'enveloppe isolante, et, en raison des vides existant entre les différents fils, de permettre à l'eau, une fois introduite par un défaut, de pénétrer à travers tout le câble comme dans un tube. Pour remédier à ces inconvénients, on a proposé plusieurs moyens : d'abord d'appliquer sur le fil central de la corde une couche de chatterton-composition, sur laquelle seraient placés les premiers fils extérieurs pendant la torsion, et qui, en filtrant à travers les interstices, constituerait avec

la première enveloppe isolante, un tout solide; en second lieu de réunir les différents fils de la corde avec de la soudure; enfin, d'isoler séparément les différents fils du faisceau et de les abouter en des points différents. Dans ce dernier cas, si l'un d'eux en se rompant perçait l'enveloppe isolante, on pourrait augmenter considérablement la résistance de ce défaut, en dissolvant les bouts du fil cassé au moyen de forts courants positifs envoyés à travers le câble.

Le rapport de la commission constate du reste que la qualité du cuivre peut faire varier la conductibilité d'un câble dans des proportions considérables, et que certains cuivres, comme ceux de Rio-Tinto, peuvent ne pas être plus conducteurs que le fer. Cela dépendrait surtout de la quantité d'oxyde de cuivre qui entrerait dans la composition du métal, et qui peut diminuer sa conductibilité jusqu'à 28 pour cent.

A cette occasion, le rapport de la commission entre dans quelques détails sur le métal qu'on devrait employer pour la construction des étalons de résistance, et qui doit réunir les trois conditions suivantes : 1° une conductibilité ne se modifiant pas quand on le passe au feu pour le recuire ; 2° une conductibilité ne variant que faiblement avec la température ; 3° une inaltérabilité complète, étant exposé à l'air. Ces conditions seraient réunies dans l'alliage d'or et d'argent.

Enveloppe isolante. — Quant à l'enveloppe isolante, la commission pense que c'est le caoutchouc et la gutta-percha qui doivent être surtout employés, et qu'on ne doit accepter qu'avec une grande réserve les compositions nouvelles récemment proposées, et sur l'efficacité desquelles le temps n'a pas encore prononcé. Le caoutchouc doit être employé en lanières étroites soudées l'une à l'autre par leurs bords fraîchement coupés (à l'abri du contact de l'air), et le tout, après avoir été passé dans l'eau chaude, doit être enveloppé de caoutchouc vulcanisé et soumis à une haute température pour

assurer l'union des surfaces. La gutta-percha doit être complétement pure, déposée en couches minces et nombreuses, et recouverte de goudron de Stockholm ; elle doit surtout être préservée du contact de la lumière et recouverte d'eau. Le caoutchouc, suivant la commission, *brûle* et *s'oxyde lentement au simple contact de l'air et dans l'obscurité ;* mais à la lumière, et surtout lorsqu'il est exposé à l'air et à la chaleur solaire, *l'oxydation s'étend avec une fatale rapidité.* Cette substance ainsi oxydée présente l'apparence d'une gomme épaisse, et se sépare promptement du fil. A l'état natif cependant cet isolant s'altère beaucoup moins rapidement. La gutta-percha pure peut rester sans s'altérer pendant plusieurs mois à l'air, pourvu qu'elle soit à l'abri de la lumière et ne soit pas soumise à une température trop élevée ; elle peut subsister pendant plusieurs années sous l'eau, en bon état, mais les alternatives d'humidité et de sécheresse la détruisent rapidement, surtout quand elle est exposée à la lumière solaire.

La commission, du reste, conformément à toutes les recherches dont nous avons parlé page 173, a reconnu que la température exerce un effet sensible sur ces matières, et que la pression, en consolidant la matière, perfectionne l'isolement, et cela d'autant plus que la substance est *moins isolante.* Toutefois ces substances absorbent toujours une certaine quantité d'eau. Cette quantité est à peu près insignifiante avec la gutta-percha et de l'eau de mer, mais elle est plus sensible avec le caoutchouc ; dans tous les cas cette absorption, qui n'a lieu qu'à la surface de l'enveloppe isolante, est d'autant plus grande que la température est plus élevée et que l'eau est plus pure. L'épaisseur de la couche isolante modifie aussi l'absorption dans une plus grande proportion que ne semblerait devoir le comporter l'augmentation de sa surface. Ainsi quand la couche est épaisse, cette absorption paraît s'arrêter brusquement à un point

qui est rapidement dépassé lorsque la couche est mince; la conductibilité des matières isolantes ne paraît pas du reste sensiblement affectée par cette absorption.

Quant aux effets de l'induction et aux lois qui peuvent en être déduites relativement aux câbles sous-marins, le rapport de la commission les résume de la manière suivante :

1° La grandeur de la décharge (résultant de la condensation) est proportionnelle à la force électro-motrice ou à la tension de la batterie.

2° Cette décharge est directement proportionnelle à la longueur du fil.

3° Lorsque la décharge est effectuée simultanément par plusieurs fils réunis, l'effet sur le galvanomètre est le même que si ces fils étaient placés à la suite les uns des autres.

4° La conductibilité du métal, toutes les autres circonstances restant les mêmes, n'a pas d'influence sur la décharge en question. Si donc on emploie un mauvais conducteur, la résistance du circuit est augmentée, mais l'induction reste la même[1].

5° La grandeur de la décharge, pour des fils de diamètres divers et d'enveloppes formées de même matière, mais ayant des épaisseurs différentes, est sensiblement proportionnelle à la racine carrée du demi-diamètre du fil, et en raison inverse de la racine carrée de l'épaisseur de l'enveloppe isolante.

6° La température agit sur l'intensité de la décharge, mais seulement dans les limites où elle modifie l'isolement.

7° Il ne paraît pas que la pression ait de l'influence sur la décharge.

Comme conséquences de ces lois, le rapport de la commission fait remarquer : 1° qu'il y a plus d'avantage, sous le

1. Ces déductions sont conformes à celles de M. Guillemin, que nous avons rapportées page 144.

rapport de l'induction, à augmenter le diamètre du fil que l'épaisseur de l'enveloppe isolante; car tant que l'enveloppe reste la même la décharge induite augmente seulement comme la racine carrée du diamètre du fil, tandis que la force du courant transmis augmente comme le carré de son diamètre; et si l'on fait varier l'épaisseur de l'enveloppe isolante, la force du courant transmis reste la même, alors que l'induction ne décroît que comme la racine carrée de l'épaisseur; 2° que l'interposition entre le fil et l'enveloppe d'un corps médiocrement conducteur, comme des fils de coton, augmente l'induction et diminue l'isolement, parce que ce corps interposé augmente inutilement la surface du conducteur.

La commission du reste paraît regarder comme parfaitement exacte la formule de M. Thompson, donnant pour valeur de la capacité électro-statique de l'unité de longueur du fil isolé, lorsque la partie extérieure de l'isolateur est mise en communication avec la terre :

$$\frac{I}{2 \log \frac{D'}{D'}},$$

I représentant la capacité inductive de la matière isolante, D le diamètre du conducteur métallique, D′ le diamètre de l'enveloppe isolante, et *log* l'indice des logarithmes népériens.

Enfin la commission, passant en revue les diverses expériences faites sur la vitesse de propagation de l'électricité, rapporte les différents chiffres qui ont été obtenus et qui, comme nous l'avons déjà dit, sont tous en désaccord (et pour cause, bien que la commission ne regarde pas encore comme complétement concluants les résultats trouvés par MM. Guillemin et Gaugain).

Mémoire de M. Wheatstone

SUR LES CIRCONSTANCES QUI INFLUENCENT LA TRANSMISSION ÉLECTRIQUE A TRAVERS LES CABLES TÉLÉGRAPHIQUES SOUS-MARINS.

I

L'introduction, dans ces derniers temps, des câbles télégraphiques sous-marins, et la substitution de lignes souterraines de longueurs considérables aux lignes aériennes presque exclusivement employées anciennement, ont fait ressortir certains effets de charge électrique ayant une si grande influence sur la rapidité et la quantité des signaux transmis, qu'il est nécessaire de les étudier avec le plus grand soin, afin d'être en mesure, sinon d'en prévenir complétement les conséquences fâcheuses, du moins de les atténuer le plus possible.

Ces effets ne pouvaient manquer d'être observés par les personnes employées dans les opérations télégraphiques, aussitôt que ces lignes furent construites; mais avant qu'ils devinssent le sujet des recherches sérieuses de MM. Werner, Siemens et du Dr Faraday, on ne s'en était pas rendu compte d'une manière bien nette. Voici ce qui résulta des premières recherches du Dr Faraday.

Quand un fil métallique est enveloppé par une couche de substance isolante, comme de la gutta-percha ou de la gomme élastique, et se trouve entouré d'eau ou de terre humide, le système devient tout à fait analogue à une jarre de Leyde ou à un condensateur dans lequel la couverture isolante représente le verre, le fil de cuivre l'armature métallique intérieure, et l'eau ou la terre humide l'armature extérieure. L'électricité qui charge le fil et qui provient du pôle de la batterie mis en contact avec lui agit par induction sur l'électricité opposée du milieu environnant, qui à son tour

réagit sur l'électricité du fil en surexcitant la source; de telle sorte qu'il se produit une grande accumulation des fluides, et cette accumulation est d'autant plus grande que la couche isolante est plus mince.

Un mille de fil de cuivre d'un sixième de pouce de diamètre qui présente une surface de 85 à 95 pieds carrés, peut recevoir la même charge qu'une batterie de Leyde ayant une même surface d'armatures métalliques. Il existe cependant une différence matérielle entre les effets produits dans ces deux cas. Quoique étant effectuée dans un temps inappréciable, la décharge du fil se produit beaucoup plus lentement que celle qui provient des armatures de la batterie. Un fil posé sur des supports isolants, en plein air, quand il ne communique pas avec la terre, reçoit également une charge; mais cette charge est beaucoup plus faible en quantité, l'action inductive des corps environnants exerçant peu d'influence sur ce fil.

Quoique certaines conditions générales de cette action inductive dans les fils télégraphiques aient fait le sujet de recherches remarquables, et soient maintenant très-connues, nos connaissances à cet égard sont encore très-limitées, et on a trouvé nécessaire d'établir une série d'expériences, dans des conditions analogues autant que possible à celles dans lesquelles sont placées les lignes télégraphiques, afin de déterminer la valeur de la décharge[1] dans des fils de longueur considérable, suivant leur longueur, leur diamètre, la nature et l'épaisseur de la substance isolante, et suivant la température et la pression du milieu ambiant qui les entoure.

Pour ces expériences on a employé une série de fils isolés des dimensions suivantes :

1. M. Wheatstone appelle *décharge* le courant résultant de la recomposition des charges électriques accumulées par le fait de la condensation.

1° Seize milles de fil de cuivre de 1/16 de pouce de diamètre avec une couche de gutta-percha de 3/32 de pouce d'épaisseur;

2° Neuf fils d'un mille de long, d'un diamètre différent, et recouverts de couches de gutta-percha, d'une épaisseur également différente. (Des duplicata de cinq de ces fils ont été donnés.);

3° Quinze fils d'un mille de long et de 1/16 de pouce de diamètre, recouverts de matières isolantes différentes, préparées par plusieurs manufacturiers.

En tout, 45 milles de fils isolés.

Ces fils furent enroulés en bobines et plongés dans un récipient rempli d'eau, de manière à ce que le bout de chaque mille de fil vînt aboutir à la salle d'expériences, pour être mis en communication avec la batterie, les instruments et les plaques de terre.

La batterie établie d'après le principe de Daniell était formée de 512 couples; pendant le cours des expériences elle fut arrangée de manière à ce que 1, 2, 4, 16, 32, 128, 256 et 512 éléments pussent être mis en action à volonté. On prit toutes les précautions nécessaires pour que cette batterie fût parfaitement isolée.

II

Appareil pour charger et décharger les fils. — On chargea et on déchargea les fils avec le simple appareil représenté figure 108, page 496.

AB est une planche en caoutchouc durci; C, D, E, trois plaques de métal munies de boutons d'attache 1, 2, 3; à la plaque du milieu a été adapté un conjoncteur M qui peut être mis en communication, à volonté, avec l'une ou l'autre des plaques voisines. La partie de ce conjoncteur qui doit être touchée avec la main est également construite en caoutchouc

durci. F, G, H sont trois plaques de métal également isolées, ayant chacune deux boutons d'attache, 4-7, 5-8 et 6-9.

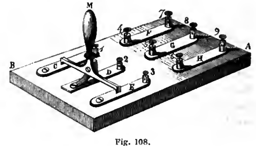


Fig. 108.

Un fil partant d'un pôle de la batterie doit être attaché à la vis n° 7, tandis que l'autre pôle doit être mis en communication avec la plaque de terre ; le fil isolé dont la charge et la décharge doivent être mesurées communique au bouton n° 8, et le bouton d'attache n° 9 doit communiquer par un fil à la terre.

Pour connaître l'intensité de la charge communiquée au fil isolé, un galvanomètre doit être placé entre les boutons 1 et 4. En mettant la bascule en contact avec G, la charge de la batterie est communiquée au fil, et son intensité est indiquée par le galvanomètre.

Pour mesurer la décharge du même fil isolé, il faut placer le galvanomètre entre les bouton 3 et 6. La bascule est d'abord mise en contact avec la plaque C, ce qui permet au fil de se charger ; ensuite elle est mise en communication avec E ; et il résulte de cette opération une décharge du fil à la terre à travers le galvanomètre.

Si le galvanomètre est placé entre les boutons 2 et 5, les courants qui résultent de la charge et de la décharge sont successivement indiqués par le galvanomètre.

Lorsque les boutons d'attache 1-4, 2-5, 3-6, ne sont pas

réunis entre eux par un galvanomètre, ils doivent être reliés par des fils courts.

III

Galvanomètres employés dans les expériences. — Plusieurs galvanomètres de construction différente furent employés dans nos expériences qui durèrent plusieurs mois.

Comme la tension de la batterie était souvent sujette à des variations considérables produites par diverses causes, et que le magnétisme des aiguilles se trouvait troublé par le passage prolongé de courants souvent assez intenses, traversant les galvanomètres, ces expériences, faites à différentes époques, ne peuvent être exactement comparables. On prit cependant toutes les précautions nécessaires pour que cette comparaison pût être établie entre les expériences de chaque groupe, faites au même moment.

On employa les galvanomètres suivants :

1° Un galvanomètre avec deux aiguilles astatiques suspendues à un fil de soie sans torsion. La longueur du fil du multiplicateur était de 80 yards et son diamètre de 1/40 de pouce. . . . . A.

2° Un galvanomètre semblable, dont les aiguilles différaient de poids. . . . . B.

3° Un galvanomètre avec un long fil, dont la résistance, mesurée par son constructeur (M. Henley), était égale à cinq milles de fil télégraphique ordinaire. . . . . . . C.

4° Un autre galvanomètre avec un très-long fil, ayant une résistance beaucoup plus grande. . . . . D.

5° Un galvanomètre à aiguille non astatique, ayant 30,500 tours de fil enroulé sur son multiplicateur, et le fil ayant $\frac{1}{500}$ de pouce de diamètre. . . . . E.

6° Un galvanomètre à torsion avec des aiguilles astatiques

suspendues par un fil de verre. Le fil avait 130 mètres de longueur et 1/40 de pouce de diamètre. . . . . . F.

Les courants produits pendant la charge et la décharge des fils, même lorsqu'ils ont plusieurs milles de longueur, étant d'une durée tellement courte, qu'ils ne peuvent dévier l'aiguille du galvanomètre d'une manière permanente, nous avons été obligés de prendre pour leur mesure, le maximum de la déviation momentanée de l'aiguille.

Les forces qui produisent les déviations de l'aiguille, ont été supposées, comme dans le cas analogue du pendule balistique, représenter les cordes des arcs décrits par l'aiguille. Les arcs eux-mêmes, lorsqu'ils ne dépassent pas 30° ou 40°, peuvent, pour ces expériences, qui ne sont pas d'une exactitude absolue, être considérés comme des approximations suffisantes.

IV

Influence de la force électro-motrice de la batterie sur l'intensité de la décharge. — Un grand nombre d'expériences furent faites avec des lignes variant de 1 à 16 milles de longueur, et avec des batteries variant de 16 à 512 éléments. Ces expériences conduisirent toutes à ce résultat, que l'intensité de la décharge est proportionnelle à la force électro-motrice ou à la tension de la batterie. Le tableau ci-dessous donne le chiffre d'une série d'expériences, dans lesquelles le galvanomètre A fut employé, et qui viennent à l'appui de ce que nous venons de dire.

Nombre des éléments.	1 mille.	8 milles.	16 milles.	Électromètre de Pelletier.
16	0°	2°5	5°	»»
32	0	5	10	»»
64	0	10	20	14°
128	2 5	20	41	28
256	5	41	88	»»
512	10	88	»»	»»

On trouve que les cordes de ces angles sont proportionnelles aux forces électro-motrices et au nombre d'éléments de la batterie. La cinquième colonne donne les tensions de la batterie déterminées à l'aide de l'électromètre de Peltier; les tensions élevées ne sont pas indiquées, parce qu'au delà de 30°, la proportionnalité des forces aux arcs n'existe plus.

V

Influence de la longueur du fil sur la décharge induite. — Dans les expériences suivantes, la décharge fut mesurée successivement avec des fils de cuivre de 1, 2, 3 et 4 milles ayant 2/32 de pouce de diamètre, et recouverts avec de la gutta-percha de 3/32 de pouce d'épaisseur. Une batterie de 504 éléments fut employée pour charger les fils et deux galvanomètres à fil court (A et B) furent employés pour obtenir les mesures. Les nombres de la première et de la seconde colonne du tableau ci-dessous, furent obtenus avec le même galvanomètre, mais la tension de la batterie fut différente dans les deux cas. Le galvanomètre B avait l'aiguille la plus sensible.

	Galvanomètre A.		Galvanomètre B.
1 mille	7.5	7	11
2 milles	15.	14	22.5
3 milles	22.5	21	33.3
4 milles	30.	28	43.

Les décharges sur des fils de un à deux milles, furent ensuite mesurées en employant des échantillons différents, et l'on obtint les chiffres suivants :

Diamètre du fil de cuivre.	Épaisseur de la gutta-percha.	1 mille.	2 milles.
2/32	3/32	8.	16.
2/32	6/32	6.	12.
2/32	12/32	5.	9.5
4/32	6/32	8.5	17.
8/32	6/32	13.	25.5

D'après ces expériences, il est évident que l'intensité de la décharge est en rapport direct avec la longueur du fil.

Quand les déviations du galvanomètre que l'on emploie, ne surpassent pas 30°, et c'est le cas des appareils employés dans les expériences précédentes, les arcs peuvent, sans erreur sensible, être, ainsi que nous l'avons dit, substitués aux cordes; mais il n'en est plus de même quand on emploie des galvanomètres à long fil, et de plus, les résultats que l'on obtient ne sont pas toujours concordants. Cela vient de ce que ces galvanomètres donnent pour les degrés élevés des nombres qui croissent dans un rapport considérable, ainsi que l'indiquent les expériences suivantes, pour lesquelles une batterie de 72 éléments a été employée avec le galvanomètre C, et une batterie de 144 éléments avec le galvanomètre D.

	Galvanomètre C.	Galvanomètre D.
Pour 1 mille...... ...	24, 24, 23	10, 10, 10, 11
— 2 milles.........	49, 49, 52, 49	23, 24, 23
— 3 milles.........	89, 89	35, 36 1/2, 38
— 4 milles.........	134, 134, 132	52, 52, 50

En supposant que les décharges soient proportionnelles aux longueurs du fil, et que les cordes des arcs mesurent exactement ces décharges, ces déviations auraient dû être,

	Galvanomre C.	Galvanomètre D.
Pour 1 mille.............	24	11
— 2 milles............	49	22
— 3 milles............	77	33
— 4 milles............	110	45

VI

Décharges simultanées. — Les expériences suivantes prouvent que lorsqu'une décharge est simultanément effectuée à travers un certain nombre de fils réunis par le bout qui doit les décharger, l'effet produit sur le galvanomètre est le

même que celui qui a lieu lorsque les fils sont unis ensemble pour former une longueur continue. Il est clair que quand quatre longueurs de fil sont simultanément déchargées, la décharge est effectuée beaucoup plus vite que quand les mêmes longueurs de fils sont unies d'une manière continue; mais comme l'intensité est en même temps quatre fois plus forte, la quantité totale, représentée par l'intensité multipliée par le temps, reste la même, et produit la même déviation de l'aiguille du galvanomètre.

La batterie de 504 éléments et le galvanomètre A furent employés pour ces expériences. On obtint :

	Avec une longueur continue.	A côté l'un de l'autre.
Pour 1 mille......... .	7.5	7.5
— 2 milles......	15.	15.
— 3 milles...........	22.5	22.
— 4 milles...........	30.	30.

VII

Influence de la conductibilité du fil. — Un fil de fer d'un mille de longueur, de 4/32 de pouce de diamètre, et recouvert d'une couche de gutta-percha de 3/32 de pouce d'épaisseur, fut comparé, sous le rapport de l'intensité de la décharge produite, à un fil de cuivre du même diamètre, recouvert également d'une couche de gutta-percha. Quand on employait une batterie ayant une force constante et le même galvanomètre, la décharge était toujours la même avec les deux fils. Il est vrai de dire que l'épaisseur de la couche de gutta-percha ne devait pas être exactement la même dans les deux cas, car d'après les renseignements fournis, la couche de gutta-percha enveloppant le fil de fer avait un poids de 150 livres pour un mille de fil, tandis que ce poids n'était que de 134 livres pour le fil de cuivre; mais l'expérience a démontré que cette différence d'épaisseur n'exer-

çait aucune influence. Le fer a été reconnu présenter au passage du courant voltaïque, une résistance huit fois plus considérable que le cuivre.

On a proposé de substituer au fil conducteur de cuivre, dans la construction des câbles sous-marins, un fil de fer dont l'épaisseur augmenterait de façon à rendre sa conductibilité égale à celle du cuivre; mais bien que, avec ce système, l'intensité du courant pourrait rester la même, l'induction augmenterait avec le diamètre du fil et un désavantage très-grand en résulterait; du reste, dans ces différentes circonstances, la conductibilité du métal ne semble pas influer sur l'intensité de la décharge. Pour cette raison, il faut prendre pour les lignes télégraphiques sous-marines un fil de cuivre d'une grande conductibilité.

On verra dans le rapport du Dr Matthiesen, que les fils de cuivre du commerce varient extrêmement; ainsi l'étalon de résistance étant représenté par 100, cette variation peut aller de 100 à 14,24. Lorsqu'on emploie un mauvais conducteur du même diamètre, la résistance du circuit augmente, mais l'induction reste la même.

VIII

Influence du diamètre du fil et de l'épaisseur de la couche isolante sur l'intensité de la décharge. — Pour établir de quelle manière le diamètre du fil et l'épaisseur de la couche isolante influent sur l'intensité de la décharge, la Compagnie de la gutta-percha fut priée de préparer neuf câbles d'expériences en fil de cuivre recouvert de gutta-percha, ayant chacun un mille de longueur, mais avec des fils de diamètre différent, et présentant pour chaque échantillon une enveloppe d'épaisseur variable.

Quand ces câbles furent construits, les différentes couches de gutta-percha ne furent pas trouvées aussi uniformes

qu'elles auraient dû l'être. Pour que l'on puisse faire la correction, j'ai donné dans le tableau qui va suivre le poids des couches de la gutta-percha donné par la Compagnie, et celui qui aurait dû correspondre à l'épaisseur convenue, le câble le plus petit ayant été pris pour point de comparaison. Les chiffres du haut de chaque groupe représentent les poids calculés, ceux qui suivent les poids donnés par la Compagnie et ceux du dessous, leur différence positive ou négative. Les poids réels furent déterminés de la manière suivante : — Les fils enroulés en bobine furent pesés, et le poids du fil de cuivre ayant été exactement calculé, on le déduisit du poids total ; le reste représenta nécessairement le poids de la gutta-percha. « Il est presque impossible, dit le directeur de la Compagnie, de peser la gutta-percha sur les fils avec une suffisante exactitude, pour être assuré que deux milles de ces fils auront exactement le même poids, le fil de cuivre variant de son côté dans cette même longueur. »

Dans cette table les poids sont donnés en livres :

Épaisseur des couches de gutta-percha.	Diamètre des fils de cuivre. 2	4	8
3....	100	140	220
	100	134	159
	0	+ 6	+ 61
6....	320	400	560
	338	408	579
	— 18	— 8	— 19
12....	1100	1280	1600
	1120	1300	1636
	— 20	— 20	— 36

Le tableau suivant donne les rapports des deux nombres ou les poids calculés divisés par les poids réels. La plus grande différence est dans la ligne 8 — 3.

	2	4	8
3......	1.000	1.044	1.382
6......	0.946	0.980	0.967
12......	0.982	0.984	0.978

Pour contrôler les poids donnés par la Compagnie, six pouces de ces différents fils furent coupés, et leur couche de gutta-percha exactement pesée. Le tableau suivant donne, en grains, les poids qui furent trouvés, ainsi que les poids correspondants calculés d'après les épaisseurs. Les chiffres du haut représentent les poids calculés, celui du fil le plus petit (2 — 3) étant pris pour point de comparaison.

	2	4	8
3......	66	92.4	145.2
	66	93.	143.
	0	—0.6	+2.2
6......	211.2	264.	369.6
	229.	265.	385.
	—17.8	— 1.	—15.4
12......	739.2	844.8	1056
	712.	878.	1090
	+27.2	—33.2	—34

Le tableau suivant montre les rapports des poids calculés comparés aux poids réels donnés par le tableau précédent.

	2	4	8
3......	1.000	0.993	1.053
6......	0.922	0.996	0.960
12......	1.038	0.962	0 968

On verra ici que dans le cas du fil 8 — 3, le poids réel correspond davantage au poids calculé qu'à celui donné par la Compagnie. Ce fait, joint aux résultats des expériences rapportées ci-après, me porte à penser qu'il y a eu erreur dans l'évaluation des poids de ces fils, donnés par la Compagnie;

mais sur ce point je n'ai pu obtenir aucun renseignement satisfaisant.

Plusieurs séries d'expériences furent faites à différentes époques pour mesurer les décharges de ces neuf câbles. On employa des batteries de 33 et de 512 éléments, et les mesures furent prises avec des galvanomètres de construction différente. Les tableaux suivants donnent quelques-uns de ces résultats. Les chiffres du côté gauche de chaque série donnent les déviations angulaires des aiguilles, et ceux du côté droit, les cordes correspondantes de ces angles. L'arrangement de ces tableaux permet de juger *à priori* de l'influence exercée par le diamètre du fil et l'épaisseur de la couche de gutta-percha.

PREMIÈRE SÉRIE.								SECONDE SÉRIE.							
Batterie de 512 éléments.				Galvanomètre A.				Batterie de 512 éléments.				Galvanomètre F.			
	2	4	8		2	4	8		2	4	8		2	4	8
3	7.2	12.0	15.7	3	62	104	136	3	11.2	18.0	24.0	3	97	156	207
6	5.0	7.9	12.0	0	43	09	104	6	7.8	11.8	18.0	0	67	102	156
12	3.8	5.0	7.9	12	32	43	69	12	5.8	8.2	12.0	12	50	71	104

TROISIÈME SÉRIE.								QUATRIÈME SÉRIE.							
Batterie de 128 éléments.				Galvanomètre D.				Batterie de 128 éléments.				Galvanomètre E.			
	2	4	8		2	4	8		2	4	8		2	4	8
3	15.9	25.0	31.0	3	138	216	267	3	25.5	40.0	53.0	3	220	342	446
6	14.2	10.0	25.0	6	97	139	216	6	18.7	27.0	41.0	6	162	233	350
12	9.0	12.0	16.6	12	78	104	144	12	14.0	19.5	27.0	12	121	169	233

CINQUIÈME SÉRIE.								SIXIÈME SÉRIE.							
Batterie de 64 éléments.				Galvanomètre C.				Batterie de 512 éléments.				Galvanomètre B avec des aiguilles chargées.			
	2	4	8		2	4	8		2	4	8		2	4	8
3	13.0	22	30.0	3	113	190	258	3	9	14.0	18.5	3	78	121	160
6	8.5	13	22.0	6	74	113	190	6	6	9.0	14.5	6	52	78	126
12	6.0	9	13.5	12	52	78	117	12	5	6.5	9.5	12	43	61	82

En comparant ensemble tous ces groupes d'expériences, nous ne serons pas éloignés de la vérité, si nous admettons, comme une loi générale, que l'intensité de la décharge des fils de différent diamètre, avec des couches d'épaisseur variable, et de même matière isolante, est directement comme la racine carrée du demi-diamètre du fil, et en raison inverse de la racine carrée de l'épaisseur de l'enveloppe isolante. A tous les degrés, cette loi est approximativement vraie dans les conditions où l'on se trouve placé dans les opérations télégraphiques.

Si nous examinons plus minutieusement ces résultats, il paraîtrait que les décharges augmenteraient un peu plus rapidement que la racine carrée du rayon ou demi-diamètre du fil, plus rapidement aussi que la racine carrée de l'épaisseur de la gutta-percha ; il paraîtrait aussi que lorsque le fil et la couche de gutta-percha croissent dans la même proportion, la décharge ne resterait pas exactement la même, mais croîtrait à peu près comme les diamètres; ces différences peuvent provenir des variations dans le diamètre des fils et dans l'épaisseur de la matière isolante, variations qui sont inséparables de la fabrication.

Il résulte de ces effets une conséquence pratique de quelque importance : il est reconnu qu'en accroissant le diamètre du fil et l'épaisseur de la couche isolante dans la même proportion, l'intensité de la décharge d'induction reste la même. D'un autre côté, d'après la loi de Ohm, la force du courant dans un circuit voltaïque croît comme le carré du diamètre du fil, lorsque la longueur du circuit reste la même, et que la résistance de la batterie est assez faible pour être négligée par rapport à la résistance du circuit métallique. Ces deux principes donnent le moyen d'accroître la force du courant sans augmenter les effets de l'induction. En effet, si l'on regarde comme un inconvénient dans la pratique d'accroître les fils et la couche isolante proportionnel-

lement, un grand avantage résultera plutôt de l'accroissement du diamètre du fil que de celui de l'épaisseur de la couche de gutta-percha; car en admettant que l'épaisseur de la couche de gutta-percha reste la même, la décharge d'induction croîtra seulement comme la racine carrée du diamètre du fil, pendant que la force du courant croîtra comme le carré du diamètre; au contraire, si le diamètre du fil reste le même, et que l'épaisseur de la gutta-percha varie, la force du courant ne changera pas, mais l'induction croîtra comme la racine carrée de l'épaisseur de la couche isolante. Si la résistance de la batterie est considérable, l'avantage provenant de la grosseur du fil ne sera pas aussi sensible.

IX

De l'influence de la matière isolante sur l'intensité de la décharge.— La gutta-percha est la matière isolante qui a été jusqu'ici presque exclusivement employée dans la construction des lignes télégraphiques souterraines et sous-marines. Des fils recouverts de caoutchouc ont néanmoins, dans quelques endroits, été mis en usage, et récemment de nombreux brevets ont été obtenus soit pour des composés de matières dans lesquelles la gutta-percha et le caoutchouc sont associés, soit pour interposer d'autres substances entre les diverses couches de ces matières.

Pour établir la comparaison entre les avantages et les inconvénients de ces diverses substances à l'égard de leur propriété inductive et de leur propriété isolante, les manufacturiers furent priés par le Comité de fournir pour ces expériences des fils d'un mille de longueur et d'un sixième de pouce de diamètre, recouverts conformément à leurs procédés. La liste suivante fera connaître le nom des manufacturiers qui ont répondu à l'appel et qui ont donné les fils sur lesquels les expériences ont été faites :

	Épaisseur des couches.
1° Compagnie de la gutta-percha :	
Préparation perfectionnée de gutta-percha, dont on prétend que le collodion est un des éléments constituants.	3/32
Gutta-percha modèle.	3/32
Id., avec une couche d'épaisseur double. . .	6/32
Id., avec dix couches de gutta-percha, alternées avec dix couches de Chatterton's composition	6/32
2° MM. Silver et Compagnie :	
Caoutchouc mastiqué, coupé en lanières étroites enroulées en spirale autour du fil et soudées entre elles à chaud avec une chaleur n'excédant pas celle de l'eau bouillante, B.	6.25/32
Id., C.	3.86/32
3° MM. Hall et Wells :	
Enveloppe composée de trois couches de caoutchouc sans mélange, recouvertes extérieurement de caoutchouc vulcanisé, avec fil de coton interposé entre le fil métallique et la couche, A. . .	3/32
Enveloppe composée de coton, d'une couche de caoutchouc sans mélange, de trois couches de caoutchouc manufacturé et d'une couche de caoutchouc vulcanisé, B	3/32
4° M. Léonard Wray :	
Le composé de Wray, consistant dans du caoutchouc, de la gomme laque, du verre pilé et de la gutta-percha	6/32
5° M. Hughes :	
Enveloppe composée de deux couches de gutta-percha, avec une substance visqueuse (qu'on prétend dériver de la houille), interposée entre les deux couches	6/32

Épaisseur des couches.

6° M. Radcliffe :

Une préparation de gutta-percha avec du carbone pour accroître sa durée, A 6/32

Id., B. 6/32

7° M. Godefroy :

Un composé de gutta-percha et d'écales de noix de cacao broyées. 3/32

Comme étalon pour comparer ensemble les fils précédemment énumérés, on a pris deux fils recouverts de gutta-percha ordinaire, l'un de 3/32 et l'autre de 6/32 de pouce de diamètre, qui furent expérimentés en même temps.

Dans le tableau suivant, les fils, recouverts avec des matières différentes, sont rangés selon leur épaisseur et le nombre de leurs couches. Dans tous les cas, le fil de cuivre était d'un sixième de pouce de diamètre. La colonne A donne l'intensité des décharges fournies par mes expériences, en employant une batterie de 512 éléments et un même galvanomètre. J'ai fait beaucoup d'expériences pour mesurer les décharges de ces lignes, avec des batteries de forces différentes et des galvanomètres d'espèces variées; les résultats s'accordèrent d'une manière satisfaisante, du moins aussi loin que la capacité inductive pouvait avoir d'action.

La colonne B donne une autre série de mesures de décharges. Ces résultats sont empruntés aux expériences de M. Bartholomew faites à une température de 52° F. et avec une batterie de 128 éléments.

La colonne C indique les pertes par l'isolant à 52° F. (Extrait du tableau de M. Rowland.)

La colonne D donne le nombre de minutes et de secondes pendant lesquelles la ligne perd la moitié de sa charge d'électricité statique. Emprunté au tableau de M. Bartolomew (température, 52° F.).

	ÉPAISSEUR de couche — unité = 1/32e d'un pouce.	A.	B.	C.	D.
	°	°	°	°	′ ″
Silver, C............... ...	6.25	4.5	10.2	0.	79.00
Gutta-percha perfectionnée, C.	6.	4.5	10.7	0.	11.15
Wray......................	6.	4.5	11.4	0.	50.00
Gutta-percha alternée..... ..	6.	6.	14.4	0.43	6.40
Hughes.....................	6.	6.	15.1	10.3	0.40
Étalon gutta-percha.	6.	6.	15.5	6.16	0.55
Radcliffe, B...........	6.	6.5	16.6	14.16	0.30
Radcliffe, A.................	6.	7.	17.0	10.16	0.29
Silver, B...................	5.2	5.	11.2	0.	23.2
Gutta-percha perfectionnée, B.	3.	7.	15.8	4.6	4.57
Gutta-percha perfectionnée, A.	3.	6.5	16.1	5.	3.85
Hall et Well, B.............	3.	6.5	16.2	3.	3.42
Hall et Well, A......	3.	8.25	22.4	9.	0.51
Étalon gutta-percha.	3.	9.	20.	15.	0.18
Godefroy................ ...	3.	9.5	22.4	18.16	0.21
Silver, A.........	3.86	6.	»	»	»

La plus grande épaisseur du fil de caoutchouc couvert de M. Silver était due, dans chaque cas, à une couche extérieure de ruban de fil goudronné.

En comparant les résultats donnés par le tableau précédent, plusieurs conclusions peuvent être déduites :

1° Le caoutchouc surpasse toutes les autres matières, tant au point de vue de la faible intensité de la décharge inductive qu'à celui de la perfection de l'isolation. Une couche de caoutchouc est exactement dans les mêmes conditions qu'une couche de gutta-percha d'épaisseur double.

2° Deux compositions artificielles, l'une formée d'une

matière très-isolante unie à du caoutchouc et à de la gutta-percha perfectionnée, l'autre faite avec le composé de Wray et de la gutta-percha, donnent les mêmes effets que le caoutchouc.

3° Le mélange de matières imparfaitement isolantes avec de la gutta-percha, telles que le composé au carbone de M. Radcliffe, ou encore le composé fait avec des débris de noix de cacao de M. Godefroy, a le désavantage de diminuer l'isolation et d'augmenter l'induction.

4° Le fil de coton interposé entre le fil et la couche de caoutchouc, comme dans la préparation de MM. Hall et Well, augmente également l'induction et diminue l'isolement. L'induction est augmentée parce que le fil de coton, qui est un mauvais isolateur, augmente la surface du conducteur; et l'isolation est affaiblie, non-seulement parce que la couche isolante est diminuée par suite de l'interposition du coton, mais probablement aussi en raison de la plus grande action inductive. Le coton interposé entre deux lanières de gutta-percha est également désavantageux, comme le prouvent les expériences de M. Hearder sur la ligne courte de 450 mètres.

5° L'interposition d'un isolant visqueux entre deux couches de gutta-percha ne peut ni diminuer ni augmenter l'isolation de la ligne. Si le procédé de M. Hughes possède des avantages, ces avantages sont dus à la tendance qu'a le fluide visqueux de remplir les petites cavités qui peuvent exister dans les couches de la gutta-percha.

6° Généralement parlant, plus le pouvoir isolant d'une substance est parfait, moins est grande sa capacité inductive. Les expériences citées plus haut présentent cependant quelques exceptions à cette règle; mais tant de causes peuvent affecter les expériences sur l'isolation, qu'il serait difficile de déduire de ces exceptions l'entière indépendance des deux propriétés.

X

Influence de la température sur l'intensité de la décharge. — Le tableau II montre l'influence de la température (variant de 32° F. à 92° F.) sur vingt-neuf fils recouverts de différentes matières. Je me bornerai à quelques remarques sur les résultats fournis dans cette circonstance.

L'imperfection de l'isolation croît avec la température, mais il y a une grande différence dans ce degré d'accroissement, selon la substance isolante soumise à l'expérience. Le caoutchouc de Silver maintient son isolation d'une manière presque parfaite jusqu'à 92° F., tandis que la gutta-percha est considérablement affectée. On verra dans le tableau jusqu'à quel degré les autres substances peuvent être influencées.

La température ne semble pas, en général, affecter la charge d'une manière directe. Sur presque toutes les lignes où l'isolation n'est que très-peu influencée par la température, l'intensité de la charge reste à peu près la même; mais quand l'augmentation de la chaleur occasionne une diminution de l'isolation, la charge croît également avec la température. Le composé de Wray offre cependant une exception remarquable à cette règle; entre 32° F. et 92° F., son isolation est très-peu diminuée, mais son induction varie à peu près de 3°. Au contraire le caoutchouc de Silver, qui maintient son isolation presque sans variation, garde à peu près la même intensité de décharge de 32° F. à 165° F.

D'après les tableaux de M. Bartholomew, il paraît évident que l'intensité de la décharge est généralement moindre que celle de la charge. Cette différence croît en proportion de l'élévation de la température, et si la température ne varie pas, la différence est d'autant plus grande que la perte d'isolation est elle-même plus grande. On ne peut douter

que cette différence entre la charge et la décharge ne provienne uniquement que d'une isolation imparfaite, due, soit à la qualité de la matière, soit à l'accroissement de la température. La charge est effectuée instantanément, et le courant provenant de l'isolation imparfaite lui est ajouté; tandis que la décharge s'opère après un court intervalle, et alors qu'une portion de la charge a eu le temps de s'écouler.

Dans les lignes les mieux isolées, telles que celles de Silver, C., de Wray, et de la Compagnie de la gutta-percha C., cette différence n'est visible à aucune température.

XI

Influence de la pression sur la décharge inductive et sur l'isolation. — Il ne paraît pas certain que la pression ait une influence manifeste sur l'intensité de la décharge inductive. Lorsque l'on compare les résultats (mentionnés dans le tableau VII) des expériences faites avec les fils qui n'ont subi aucune pression, à ceux des expériences faites avec les mêmes fils, quand l'eau dans laquelle ils sont plongés est soumise à la pression de 3 tonnes par pouce carré, on reconnaît qu'il y a une plus grande différence entre les expériences faites dans les mêmes conditions de pression à différents moments, qu'entre les expériences comparatives faites avec ou sans pression.

L'influence de la pression sur l'isolation statique est néanmoins très-marquée. La pression augmente beaucoup l'isolation, mais ses effets sont d'autant plus sensibles que la matière isolante est moins bonne. Il paraîtrait, toutefois, que pour le caoutchouc la différence d'isolation résultant de la pression serait moins grande que pour les autres matières.

XII

Influence des résistances interposées sur le temps de la charge ou de la décharge. — Quand la charge est communiquée au fil à travers une résistance considérable interposée entre le fil et la batterie, ou quand la décharge va à la terre, à travers une grande résistance, le temps de la charge ou de la décharge du fil est considérablement augmenté.

Pour le démontrer, on attacha à une vis isolée sur une planche d'acajou un des pôles de la batterie de 512 éléments, dont l'autre pôle communiquait à la terre. A une autre vis, éloignée de la première à peu près de la moitié d'un pouce, on attacha le bout d'un fil isolé de 2 milles de longueur. La charge put s'accumuler dans le fil pendant différents intervalles de temps, et le courant de la décharge fut conduit à la terre à travers le long fil du galvanomètre B.

Après	1/4	de minute,	la déviation était de	12°.
—	1/2	—	—	19°.
—	1	—	—	32°.
—	2	—	—	42°.
—	4	—	—	55°.

L'expérience ne fut pas poussée plus loin. Quand la planche d'acajou fut retirée du circuit, la déviation se fit immédiatement et dépassa 90°.

En interposant de la même manière un mauvais conducteur entre le fil chargé et la terre, la décharge se trouva tellement retardée qu'elle dura plus de deux minutes. L'effet fut particulièrement caractérisé, et présenta des particularités curieuses quand la décharge fut effectuée à travers les petits tubes vides de M. Gassiot.

De ces expériences on peut conclure que l'interposition

d'un fil de galvanomètre, surtout lorsqu'il a une grande longueur, retarde d'une manière sensible le temps de la charge ou de la décharge. Toutefois, quand le courant est assez instantané pour ne produire qu'une déviation momentanée de l'aiguille, l'effet produit sur l'aiguille est toujours le même, que le temps de la charge ou de la décharge soit plus ou moins long, ce qui est une preuve directe et expérimentale du fait énoncé dans le § 6. L'expérience suivante s'accorde également avec cètte explication.

Un mille du fil numéroté 2-3 fut chargé par une batterie de 144 éléments, et ensuite déchargé à la terre à travers le long fil du galvanomètre (B); l'aiguille dévia de 67°. Quatre, huit et seize milles de fil semblable furent ensuite successivement interposés entre le galvanomètre et la terre; dans tous les cas la décharge occasionna exactement la même déviation de 67°.

Quelque grande que fût la résistance de 16 milles de fil ajoutés à celle du fil du galvanomètre (reconnu par le constructeur pour être égal à 5 milles de fil télégraphique ordinaire), elle était très-petite en comparaison des résistances mentionnées en premier lieu.

Quand le temps de la charge ou de la décharge est moins long que le temps de la déviation de l'aiguille, on peut considérer cette déviation comme la mesure de la quantité d'électricité dynamique fournie par les courants instantanés; mais quand le temps est plus long, comme dans les exemples cités précédemment, cette quantité doit être mesurée par l'intensité en rapport avec la déviation permanente de l'aiguille, multipliée par le temps.

XIII

Décharges d'un des bouts du fil quand l'autre communique avec la terre. — Le courant qui se produit en déchargeant à

la terre l'électricité statique d'un fil isolé qui a été chargé, a été étudié dans les chapitres précédents, et on a vu qu'il est soumis à des lois simples et bien définies. Mais avec la transmission ordinaire des signaux télégraphiques, cette condition d'isolation du fil à son point de départ n'est pas obtenue. En effet, quand un télégraphe est en mouvement, le fil est toujours uni à la terre par son extrémité opposée. Or, dans ces conditions la tension électrique sur ce fil ne peut jamais atteindre le même degré que quand le fil est complétement isolé; car le courant continuant à passer, une partie de la décharge s'écoule en terre, et l'autre va à la pile. Il était d'une grande importance pratique que le rapport entre la décharge du fil uni à la terre, et celle du même fil isolé fût déterminé. Pour cette raison j'ai entrepris une série d'expériences avec les fils qui servirent aux expériences préliminaires, mais j'ai obtenu les résultats les plus contradictoires, et cela pour des causes dont j'aurai occasion de parler plus tard. J'ai néanmoins trouvé nécessaire, pour obtenir des résultats pratiques, de faire des expériences comparatives sur des lignes télégraphiques aériennes sous-marines ou souterraines. Dans cette intention, M. W. Andrews, Esq., ingénieur de la compagnie télégraphique sous-marine, mit complaisamment à ma disposition quatre fils souterrains allant de Londres à Douvres, et ayant une longueur de 89 milles. Ces fils étaient isolés avec de la gutta-percha, et renfermés dans une couche protectrice. On employa pour faire les expériences, les instruments suivants :

Le galvanomètre à torsion; un électroscope de Peltier; le levier déchargeur fig. 108. Les fils furent marqués respectivement 2, 4, 5 et 10; et une batterie de 81 éléments Daniell, qui avait été pendant quelque temps en action, fut employée.

L'électroscope relié par un fil court au pôle positif de la batterie, dont le pôle négatif était uni à la terre, donna une

déviation de 11°. Quand l'un des fils (n° 2, 4 ou 5), isolé par l'un de ses bouts, fut attaché à la batterie, et l'électroscope interposé au point de jonction, la déviation resta la même, c'est-à-dire de 11°. Ces fils ne retinrent pas de charge lorsqu'ils furent détachés de la batterie, et pourtant celle-ci produisait l'électricité de tension plus vite qu'il ne s'en développait à travers les fils eux-mêmes. La batterie était, il est vrai, très-imparfaitement isolée, et les éléments étaient contenus dans des vases de porcelaine posés dans des boîtes de bois à couvercle.

Pour constater la conductibilité des fils pour l'électricité dynamique, on interposa le galvanomètre à torsion E entre les numéros 5, 4 et 2, et la batterie; et les bouts opposés des fils restèrent isolés.

Les numéros qui suivent indiquent les déviations et les degrés correspondants du galvanomètre de torsion.

	Déviations.	Degrés de torsion.
N° 4.	81°	57°
N° 2.	$51\frac{1}{2}$	80
N° 5.	47	61

On voit que le n° 4 avait une conductibilité environ trois fois plus grande que le n° 5, la force du courant étant comme la racine carrée de l'angle de torsion.

J'ai alors procédé à la détermination de l'intensité de la décharge de chaque fil isolé à son extrémité libre. On employa le même galvanomètre à torsion pour mesurer les déviations instantanées, et la charge et la décharge furent effectuées par le levier déchargeur de la fig. 108. On obtint les résultats qui suivent :

	Déviations instantanées.
N° 4.	72, 85, 80, 87.
N° 2.	130, 130, 130.
N° 5.	141, 140, 141.

On voit que c'est le fil le plus mal isolé qui donne la décharge la moins intense, ce qui tient évidemment à une dérivation d'une partie du courant.

On reconnaît également, d'après les expériences précédentes, que quand l'isolation est insuffisante, l'intensité de la décharge est moins constante.

Les bouts des fils à Douvres ayant été mis en communication avec la terre, les expériences précédentes furent répétées, et on obtint les résultats suivants :

	Déviations instantanées.
N° 4.	18°, 20°, 31°, 20°.
N° 2.	17°, 18°, 20°.
N° 5.	14°, 12°, 18°, 12°, 15°.

Ces résultats montrent qu'avec des fils en communication avec la terre, l'intensité de la décharge est bien moins considérable que lorsque leurs bouts sont isolés; dans le cas du n° 2 elle est à peu près 7 fois moins grande. Il y a toutefois une grande variabilité quand l'isolation est médiocre; ainsi l'isolation imparfaite, au lieu de diminuer la décharge, semble au contraire l'augmenter. Du reste, la décharge provenant d'un fil parfaitement isolé et communiquant avec la terre, ne peut représenter une mesure aussi exacte de l'action inductive, que la décharge provenant d'un fil chargé sans communication avec la terre.

Désirant répéter les expériences avec une longueur double de fil, les numéros 2 et 5 furent réunis à Douvres sans aucune communication avec la terre; les deux bouts du conducteur étaient, pour cette raison, à Londres. On appliqua d'abord la batterie et le commutateur au bout du n° 5, ensuite au bout du n° 2; dans le premier cas le bout du n° 2 resta isolé, et dans le second cas ce fut le tour du bout du n° 5. On obtint les résultats suivants :

	Déviations instantanées.
Le bout n° 2 isolé, la batterie et le commutateur appliqués au bout du n° 5 . .	242, 200, 220.
Le bout du n° 5 isolé; d° au bout du n° 2.	175, 172, 166.

La première expérience, comme on le voit, indique une intensité de décharge presque double de celle qu'avait pu fournir un seul des deux fils. La seconde présente un résultat beaucoup moindre. Il est difficile, à cause de la complication des expériences, d'expliquer la raison de cette différence. Nous dirons toutefois que les fils n'étaient pas également isolés, et qu'ils pouvaient échanger entre eux une action inductive, par suite de leur proximité dans le même conduit.

Des expériences analogues furent faites avec les mêmes bouts de fils isolés, mis en communication avec la terre.

Le bout n° 2 en communication avec la terre, la batterie et le commutateur étant appliqués au bout du n° 5.	97°, 84°, 110°, 112°.
Le bout n° 5 en communication avec la terre; la batterie et le levier étant appliqués au bout du n° 2. .	70°, 69°, 71°.

On voit par là que la diminution de la décharge par le fait de l'intervention de la terre, quoique considérable, n'est pourtant pas aussi grande que lorsqu'on emploie la moitié de la longueur du fil. Les mêmes rapports existent d'ailleurs entre les mesures obtenues quand la batterie est appliquée aux bouts 5 et 2, comme dans les expériences précédentes.

XIV

Décharges apparentes et réelles. Résultats anormaux qui se produisent dans la décharge d'un fil en communication avec la terre, quand cette décharge est produite par des fils chargés et isolés à leurs deux bouts. — Je ne reviendrai pas sur les résultats anormaux qui se présentent quand on cherche à obtenir la décharge d'un fil en communication avec la terre, dans les mêmes conditions que les décharges produites par des fils chargés et isolés à leurs deux bouts, comme on l'a expliqué dans les chapitres 1 et 9; je dirai seulement qu'en général les déviations du galvanomètre sont beaucoup plus marquées dans le premier cas que dans le second; mais ces déviations, qui sont capricieuses et variables, s'effectuent quelquefois dans le sens de celles qui résultent de la décharge directe du courant, et dans d'autres circonstances, dans un sens opposé. Ces effets, qui ont été observés par M. Webb et M. Fleming Jenkins, ont attiré l'attention du professeur W. Thomson. Ces messieurs les attribuent à un conflit entre la décharge directe et la décharge inductive provenant de l'action mutuelle qu'exercent les unes sur les autres les spires du fil enroulé; les expériences à la suite desquelles ils ont tiré leurs conclusions, ont été effectivement faites avec de larges bobines enroulées avec le fil isolé.

Pour reconnaître les véritables causes de ces phénomènes obscurs, j'ai entrepris une série d'expériences qui ont démontré d'abord que : la longueur du fil restant la même, la déviation du galvanomètre croît avec la force électromotrice de la batterie jusqu'à une certaine limite. Quand la force électro-motrice était petite, (*i. e.*) que un ou deux éléments étaient employés, les déviations étaient généralement constantes dans une direction; mais lorsque cette force

électro-motrice était augmentée, ces déviations devenaient très-capricieuses.

J'ai ensuite comparé la décharge directe de 1, 8 et 16 milles de fils isolés à leurs bouts, avec la décharge apparente des mêmes fils en communication avec la terre, et voici les nombres que j'ai trouvés :

DÉCHARGE RÉELLE.

Nombre d'éléments de la batterie.	1 mille.	8 milles.	16 milles.
32	»	5	10
64	»	10	20
128	2.5	20	41
256	5	41	87
DÉCHARGE APPARENTE.			
1	90	70	25

On voit que pendant que la décharge directe augmente avec la longueur du fil, la décharge apparente diminue ; or, la décharge directe ne peut cependant dépendre d'une action inductive. D'un autre côté, il a été prouvé dans le chapitre XIII, que la décharge d'un fil dont le bout est en communication avec la terre, est bien moins grande que celle du même fil qui ne communique pas avec elle ; mais le tableau précédent montre que la décharge apparente d'un mille de fil, quand un élément de la batterie est employé, est incomparablement plus grande que la décharge directe du même fil, lorsque 32 ou même 256 éléments sont mis en action.

La véritable origine de ces différents effets devient évidente, si, au lieu d'abaisser momentanément le commutateur déchargeur, qui est indispensable dans les expériences sur la décharge directe, on le maintient abaissé ; on observe alors une série de variations qui ne peuvent laisser aucun doute sur la cause du phénomène. Dans les expé-

riences qui vont suivre, on employa la batterie de 512 éléments, le galvanomètre A, et le commutateur déchargeur, fig. 108; le pôle positif de la batterie communiquait avec la terre, et le pôle négatif à la plaque n° 1 : un mille du fil n° 2-3, placé dans un récipient d'eau, était mis en communication par l'un de ses bouts avec le bouton n° 2, l'autre bout restant isolé; l'une des extrémités du fil du galvanomètre était en communication avec le bouton n° 3, et l'autre extrémité avec un autre fil de terre, différent de celui de la batterie; la décharge directe du courant était de 7°.2 vers la gauche. Le bout isolé du mille de fil fut alors uni à la terre, et les 512 éléments encore employés. En abaissant le commutateur déchargeur et en le maintenant dans cette position quelque temps, une très-forte déviation de l'aiguille du galvanomètre eut lieu vers la gauche, atteignant 90°; l'aiguille tomba ensuite graduellement vers *o*, après quelques courts instants d'arrêt, mais beaucoup plus lentement que si l'aiguille eût été abandonnée à elle-même. Après s'être arrêtée à 28 secondes, elle dévia doucement vers la droite, avec de légères oscillations, et conserva une déviation permanente de 36°. Le commutateur fut ensuite relevé de manière à désunir les plaques 1 et 2, et à les séparer momentanément de la batterie; si cette opération est faite avant un nouveau changement de direction de l'aiguille, c'est-à-dire avant le retour de l'aiguille à *o*, on peut, en renouvelant le contact du commutateur, la faire dévier de nouveau vers la gauche; ce qui montre que l'effet a une certaine permanence dans le fil 2; mais si ce contact est interrompu, et ensuite rétabli, la déviation se fait vers la droite, et celle-ci se maintient toujours dans cette direction tant que le contact avec la batterie n'est pas renouvelé. Des expériences semblables furent répétées avec 256, 128, 64, 32, 16, 8, 4, 1 éléments de pile, et on reconnut que plus le nombre des éléments est grand, plus la première déviation de l'aiguille vers la gauche est

considérable et plus longue est sa durée. Avec un élément la première déviation vers la gauche était de 80°, elle tomba ou bout d'une seconde ou de deux à 0°, et après, elle atteignit une déviation permanente de 15 degrés vers la droite. Le fil 2 ayant été chargé avec un nombre considérable d'éléments, et une forte déviation permanente vers la droite ayant été obtenue, on ne produisit aucune déviation de l'aiguille en chargeant le fil avec un petit nombre d'éléments, et en le déchargeant ensuite à travers le galvanomètre; l'effet produit dans ce dernier cas n'était pas en effet suffisant pour surmonter celui qu'avait déterminé un nombre d'éléments plus considérable. L'expérience suivante ne permet pas du reste d'admettre que l'influence inductive que les spires enroulées du câble exercent les unes sur les autres dans le récipient, ait une action dans les phénomènes en question. J'ai substitué à la bobine enroulée d'un mille de fil isolé et placée dans le récipient, quatre pieds seulement de fil déroulé; la première déviation de l'aiguille était de 90° vers la gauche; elle fut suivie d'une déviation permanente de 65° vers la droite; on répéta la même expérience avec un seul élément, et les mêmes résultats furent obtenus; les déviations étaient seulement moins considérables.

La cause de ces effets est la polarisation des plaques de métal qui font communiquer les bouts des fils avec le sol; Le premier effet est produit par la polarisation de la plaque qui met le fil télégraphique en communication avec la terre; le second effet résulte de la polarisation de la plaque qui fait communiquer le galvanomètre à la terre. Quand le fil est suffisamment long pour que le courant de décharge qui en provient puisse affecter le galvanomètre, le premier effet est complexe, le courant de décharge étant joint au courant de polarisation. Les forces électro-motrices des courants de polarisation ne pouvant jamais dépasser celle d'un ou de deux éléments d'une batterie voltaïque, et ces courants eux-mêmes

diminuant rapidement avec la longueur du fil, on ne peut les observer sur les longues lignes télégraphiques, à moins d'employer des instruments très-sensibles.

XV

Des rhéomètres magnétiques. — La méthode déjà décrite pour mesurer les charges et les décharges inductives par les déviations momentanées de l'aiguille du galvanomètre, exige l'emploi de batteries d'une force électro-motrice considérable, ou de fils d'une grande longueur, afin que la charge puisse être accumulée, ou bien encore des galvanomètres ayant un pouvoir multiplicateur considérable. Or, il était à désirer qu'on pût avoir un moyen de faire commodément les expériences sur de courtes longueurs de fil, et dans ce but j'ai employé le rhéo-électromètre, ou rhéomètre magnétique de Marianini. Une description de cet instrument, et les détails de nombreuses expériences auxquelles on peut l'employer pour mesurer les courants momentanés résultant de la décharge d'une bouteille de Leyde, ont été publiés dans le *Mémoire de Physique expérimentale* du professeur Marianini (année 1836) [1]. L'instrument que j'ai employé était construit avec 2 mètres de fil de cuivre isolé, de 1/120 de pouce de diamètre, enroulé autour d'une petite barre cylindrique de fer doux, de 3 pouces de longueur et de 1/8 de pouce de diamètre.

Cette barre était fixée horizontalement sur un cercle gradué dans un angle de 90°; au centre de la barre se trouvait une ouverture qui permettait le libre passage d'un fil de soie, auquel était suspendue une aiguille magnétique extrê-

1. Voir la description de cet instrument dans notre tome IV, pages 160 et 185.

mement sensible, pesant moins que la moitié d'un grain. Au haut de la cage de verre, le bout du fil était attaché à un crochet à coulisse qui, par le moyen d'une vis de rappel, pouvait être élevé ou abaissé sans tourner. Les bouts du fil enroulé communiquaient à des boutons d'attache placés en dehors de l'instrument, et le cercle gradué avec sa barre pouvait être déplacé au moyen d'une tige placée sous l'appareil, afin de pouvoir l'orienter convenablement sans le toucher. Quatre petits butoirs étaient en outre fixés sur le cercle, à proximité de la barre, pour empêcher le contact de l'aiguille avec celle-ci. Sans cette précaution, il serait quelquefois difficile de dégager l'une de l'autre ces deux pièces.

Voici maintenant le moyen de se servir de cet instrument : On commence d'abord par placer l'appareil dans le méridien magnétique; si la barre est entièrement privée de magnétisme, l'aiguille se place elle-même dans cette direction; mais si une décharge passe à travers la bobine, la barre se magnétise avec une force en rapport avec l'intensité de cette décharge, et les deux pôles de l'aiguille étant attirés vers les deux extrémités de l'électro-aimant, fournissent une déviation instantanée, à laquelle succède une déviation permanente d'une grandeur moins grande, due au magnétisme rémanent. Pour remettre l'instrument en état de fournir une nouvelle expérience, la barre doit être privée de son magnétisme, ce à quoi on parvient de la manière suivante : Un des pôles d'un élément très-faible de la batterie voltaïque est attaché à une des vis de l'instrument, pendant que l'autre pôle est mis successivement et momentanément en contact avec l'autre vis; le courant passant dans une direction opposée à celle qui a déterminé le magnétisme de la barre, chaque contact, ainsi effectué, a pour effet de ramener l'aiguille vers le zéro; et, lorsque celle-ci est arrivée à ce point, le magnétisme de la barre est complétement détruit; toute-

fois, si l'aiguille a dépassé le zéro, la même opération devra être répétée, mais avec le courant renversé.

Je vais citer quelques-unes des expériences qui ont été faites avec cet instrument.

Une batterie de Leyde, ayant pour surface 380 pouces carrés d'armature externe, fut chargée au moyen d'une batterie de Daniell de 512 élémeuts. En déchargeant la batterie, le rhéo-électromètre indiqua instantanément 10°, et une déviation permanente de 4° lui succéda. 100 mètres du fil étalon, recouvert de gutta-percha et plongé dans l'eau, furent ensuite chargés par une batterie de 60 éléments; lorsque la décharge traversa le rhéo-électromètre, une déviation de plusieurs degrés se produisit. Or, dans ce cas, le courant de décharge ne pouvait être révélé par aucun des galvanomètres employés dans le cours des recherches précédentes, sauf cependant le galvanomètre à suspension (F), de 30,500 tours, employé dans les expériences de M. Bartholomew.

La déviation permanente occasionnée par la décharge d'un mille du fil étalon isolé, lorsqu'il était chargé par 144 éléments, était de 8°25.

XVI

Moyens d'accumuler les effets de charges et de décharges. — La déviation de l'aiguille d'un galvanomètre croît avec le nombre des décharges effectuées dans un temps donné, tant que la durée d'une simple décharge est moindre que celle d'un simple contact; quand ces décharges se succèdent avec une grande rapidité, la déviation reste constante, car bien que dans ce cas chaque charge ou décharge s'effectue dans un temps moindre, il y en a un plus grand nombre dans un temps donné, et il y a dès lors compensation. Du reste, une succession de courants instantanés produit toujours une dé-

viation permanente de l'aiguille d'un galvanomètre, comme le ferait absolument un courant continu, pourvu que les conditions précédentes soient remplies et qu'ils se succèdent assez rapidement pour que l'aiguille n'ait pas le temps de revenir à zéro.

On comprend d'après cela qu'il est possible d'accumuler les effets de charges ou de décharges successives, et de produire une déviation très-considérable de l'aiguille d'un galvanomètre, alors qu'une simple charge ou décharge pourrait à peine déterminer un mouvement de celle-ci.

En me basant sur ce principe, j'ai construit l'instrument représenté fig. 109, que j'ai nommé le *déchargeur accumulant,* et qui peut être utile pour un grand nombre d'expériences.

AB est une planche d'acajou, sur laquelle est fixée une plaque de caoutchouc durci qui porte six boutons d'attache I, I', I'', I''', C, C'. Un axe vertical, muni d'un petit volant V et d'une poulie P, est terminé supérieurement par

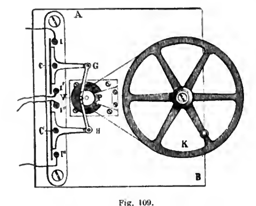


Fig. 109.

un disque circulaire à la circonférence duquel sont attachées deux bielles de caoutchouc G, H, qui tournent librement autour de leur axe commun ; les extrémités libres de ces bielles

sont articulées à deux pièces oscillantes munies de boutons d'attache C,C' et terminées près de leur axe d'oscillation par une traverse disposée en croix. Cette traverse porte à ses deux extrémités des ressorts qui, pendant que l'instrument est en mouvement, pressent alternativement contre les boutons I, I', I'', I'''. Les distances de ces ressorts et de ces boutons sont calculées de telle manière que chaque contact dure un quart de la révolution de l'excentrique. Une petite courroie relie la poulie P avec la roue motrice K, qui est de grand diamètre et qui est pourvue d'une poignée avec laquelle on la met en mouvement. Quand cette roue tourne, l'excentrique opère rapidement une révolution, et, par suite de la disposition décrite précédemment, les boutons C et C' sont mis alternativement et avec rapidité en contact métallique, le premier avec les boutons I et I', et le second avec les boutons I'' et I'''[1].

Avec un instrument ainsi construit, il est facile d'obtenir 68 contacts doubles dans une seconde; mais en employant des roues motrices de plus grand diamètre, on pourrait en obtenir un nombre beaucoup plus grand. On peut d'ailleurs, si cela est nécessaire, employer, pour régulariser le mouvement, un mécanisme modérateur.

En faisant communiquer de différentes manières les pôles de la batterie, les fils qui doivent être expérimentés, la terre, et les galvanomètres ou autres instruments mesureurs avec les boutons d'attache de l'appareil, l'instrument peut être disposé de manière à obtenir des résultats variés et différents. Je vais énumérer brièvement quelques-uns de ces résultats.

1° *Pour accumuler les charges d'un fil :*

C est uni avec la terre, I avec le fil isolé qui doit être chargé, I' avec le galvanomètre (qui doit alors communiquer

1. M. Guillemin a depuis longtemps employé dans le même but des appareils de ce genre. (*Note du traducteur.*)

avec un des pôles de la batterie, l'autre pôle conduisant à la terre). L'instrument étant mis en mouvement, il arrive : 1° quand l'interrupteur unit C et I', que le fil se charge et que l'aiguille du galvanomètre dévie sous l'influence du courant de charge; 2° quand il unit C et 1, que l'électricité du fil se décharge à la terre sans agir sur le galvanomètre. Le fil est alors alternativement chargé et déchargé, mais le galvanomètre n'indique que les charges accumulées.

Si le fil de terre est retiré du bouton 1, et que le temps de charge soit moins long que la durée d'un simple contact, comme cela arrive généralement, aucun effet n'est produit sur le galvanomètre, excepté lors du premier contact, parce qu'alors le fil reste toujours chargé.

2° *Pour accumuler les décharges d'un fil :*

On unit le fil isolé avec C, on interpose le galvanomètre entre la terre et 1, et la batterie entre la terre et l'. Les contacts avec l' chargent le fil, et les contacts alternés avec l le déchargent. Le galvanomètre étant placé entre la terre et l est affecté seulement par les décharges accumulées.

Avec le fil court du galvanomètre A et 512 éléments, on obtint les résultats suivants :

Fil couvert avec le composé de Wray, 170 yards. . 3°.
Fil avec la couche de Hearder, 440 yards. . . . 20°.

Avec le long fil du galvanomètre (D) et 512 éléments, les décharges accumulées provenant d'un fil couvert d'une couche de gutta-percha de deux pouces d'épaisseur et entouré extérieurement de feuilles d'étain furent rendues appréciables.

Les résultats suivants ont été obtenus avec les neuf fils expérimentés, ayant, comme on l'a vu, différents diamètres et des enveloppes de gutta-percha d'épaisseur variable. Les mesures ont été prises avec le galvanomètre à torsion (E), et on employa seulement deux éléments de la batterie. Trois expériences furent faites pour chaque fil.

	2	4	8
3........	4.7	7.0	9.0
	4.7	7.0	9.0
	4.6	7.0	9.0
6........	3.2	4.9	7.0
	3.1	4.9	7.0
	3.1	4.9	7.0
12..........	2.0	3.0	4.5
	2.0	3.0	4.5
	2.0	3.0	4.5

Avec le même instrument mesureur, aucune indication n'aurait pu être obtenue pour une simple décharge.

Des expériences furent faites pour reconnaître si, par ce moyen, le courant décharge de 1 ou de 2 milles de fil pouvait être rendu visible sans que ceux-ci eussent d'enveloppe isolante, et alors qu'ils étaient suspendus librement dans l'air au moyen des poteaux ordinaires des lignes télégraphiques.

On employa pour ces expériences le galvanomètre à long fil (D).

Avec 512 éléments de la batterie et deux milles de fil, on observa seulement une légère oscillation de l'aiguille pour une seule décharge; mais la décharge multiple occasionna une déviation permanente de 57°. Cette déviation néanmoins n'était pas constante; en répétant l'expérience en différents moments pendant la journée, on obtint 65°, 70°, 70° et même 40°. Ces résultats ne présentent pas la même stabilité que ceux qui résultent d'expériences faites avec un fil recouvert d'une couche isolante et plongé dans l'eau. Des expériences semblables entreprises avec deux milles et un mille de fil, en employant des batteries de force différente, donnèrent les mêmes résultats variables. Toutes les mesures qui figurent dans le tableau suivant furent obtenues le même jour, dans l'espace de quatre heures.

Nombre d'éléments de la batterie :	512	128	64	32
2 milles........	40	13	15	»
	75	32	10	»
	65	40	»	»
	70	»	»	»
	70	»	»	»
1 mille.........	22	28	11	4
	60	»	9	»
	65	»	10	»
	55	»	7	»
	65	»	»	»
	70	»	»	»

Les décharges accumulées de un mille de fil couvert de gutta-percha et plongé dans l'eau donnèrent, avec 64 éléments de la batterie et le même galvanomètre, 65°.

Pendant ces expériences on fit des essais sur l'isolation du fil aérien. L'isolation pour l'électricité dynamique, mesurée avec le galvanomètre employé pour les décharges, était très-variable; la perte était quelquefois nulle, puis, après un certain laps de temps, et quand on employait 512 éléments de la batterie, elle atteignait 72°[1]. Une pareille perte serait susceptible d'entacher tous les résultats qu'on obtiendrait en chargeant rapidement le fil; car les contacts d'une batterie avec un fil produisant, lorsqu'ils sont réitérés rapidement, un effet semblable à celui qui résulte d'un contact permanent, et l'aiguille du galvanomètre étant d'un autre côté affectée par le courant provenant de la déperdition de l'électricité le long du fil, il serait difficile de distinguer la part qu'il faudrait attribuer au courant provenant de l'isolation imparfaite, de celle qu'il faudrait rapporter au courant produit par les charges.

1. Il faut observer que le galvanomètre employé dans ces circonstances était extrêmement sensible, et que cette perte eût été insensible avec les instruments ordinairement employés dans les communications télégraphiques.

Avec les décharges répétées, le cas est différent, l'action sur le galvanomètre est alors entièrement due aux décharges de l'électricité retenue dans le fil après que le contact avec la batterie a cessé.

L'état de l'isolation pour l'électricité statique du fil aérien a été également déterminé pendant ces expériences. La tension de la batterie de 512 éléments, mesurée avec un électromètre de Peltier, était représentée par 58°. Quand on ajoutait deux milles de fil à la batterie, la même tension était maintenue. En déplaçant cette batterie et en l'éloignant du fil et de l'électromètre, l'aiguille tombait immédiatement à 42°, et ensuite, après un laps de deux minutes, à 40°; cette expérience fut répétée presque toujours avec les mêmes résultats.

3° *Pour accumuler séparément les charges et les décharges du fil dans le même moment :*

On unit le fil isolé avec C, on interpose un galvanomètre entre la batterie et I', et un autre semblable entre la terre et I.

4° *Pour reconnaître l'effet des charges et des décharges alternatives d'un fil sur l'aiguille d'un galvanomètre.* — On unit la terre avec I, on interpose le galvanomètre entre C et le fil isolé; et on réunit I' avec un pôle de la batterie, l'autre communiquant à la terre.

Si les charges et les décharges sont d'intensité égale, il est rationnel de penser que la succession rapide des courants opposés qu'elles occasionnent, ne peut amener aucun changement dans la position de l'aiguille du galvanomètre; et c'est en effet ce qui arrive lorsque la déviation de cette aiguille n'est que de quelques degrés pour l'un ou l'autre de ces courants. Mais un effet anormal a lieu quand le courant est plus fort; dans ce cas l'aiguille prend indifféremment une position permanente d'un côté ou de l'autre du zéro; avec une batterie de 512 éléments, un fil d'un mille de lon-

gueur, et le galvanomètre à fil court A, cette déviation est de 75°. On verra bientôt que la direction de cette déviation est déterminée par la première impulsion. La cause de ce singulier effet n'est pas difficile à expliquer. Lorsque l'aiguille du galvanomètre est parallèle au multiplicateur, les courants dans l'une ou l'autre direction, agissent sur l'aiguille avec une énergie égale, quoique dans des directions opposées; mais quand cette aiguille est dans toute autre position, les courants agissent sur elle avec une force inégale, et l'effet est le même que si cette aiguille était influencée par deux séries de courants alternés, d'intensité différente.

J'avais observé autrefois un effet semblable en expérimentant avec le galvanomètre différentiel de M. Becquerel; cet instrument est pourvu de deux bobines à deux fils qui transmettent chacun un courant dans une direction opposée. L'arrangement différentiel d'un galvanomètre ordinaire (que j'ai du reste décrit dans mon mémoire «sur les nouveaux instruments, et sur les procédés employés pour déterminer les constantes d'un circuit voltaïque [1] »), est néanmoins exempt de ce défaut, et cela tient à ce que dans cet arrangement la neutralisation est effectuée dans la bobine elle-même, de sorte que toute action sur l'aiguille est annihilée. Dans les deux autres exemples au contraire, l'aiguille est influencée successivement ou simultanément par deux actions dans des directions opposées.

Dans les cas précédents, où le fil est chargé par un seul des pôles de la batterie, on n'emploie seulement que trois des boutons d'attache dont nous avons parlé, et si l'usage de cet instrument est limité à ces expériences, on peut se dispenser des autres ainsi que des pièces qui sont en communication avec eux. Mais comme d'utiles et d'intéressantes déductions peuvent-être obtenues en chargeant le fil simul-

1. *Transactions philosophiques*, 1843, part. II.

tanément avec les deux pôles de la batterie, il est nécessaire d'employer les différents boutons d'attache dont il a été question. J'indiquerai brièvement quelques-unes de ces déductions.

5° *Pour étudier les courants produits par la décharge d'un seul ou des deux bouts du fil, après sa séparation de la batterie.* — On unit les pôles de la batterie avec I′ et I‴, le fil isolé avec C et C′, et on interpose le galvanomètre entre la terre et I ou I″; ou bien on interpose le galvanomètre entre les deux.

L'expérience doit être faite avec un fil très-long. Le contact des pôles de la batterie avec les deux bouts du fil donne lieu à des courants de décharge, dans la même direction, et en rapport avec la longueur du fil; la disjonction opérée entre ce fil et les deux pôles de la batterie, et la mise en contact de celui-ci avec les fils de terre, donnent lieu à des courants de retour.

6° *Pour mesurer la portion de charge qu'un fil chargé communique à un autre.* — Un des pôles de la batterie étant en communication avec la terre, l'autre doit être uni avec I; le fil qui doit être chargé le premier doit communiquer avec C, les deux bouts du fil chargé en second lieu, avec I′ et C′, et le galvanomètre est interposé entre la terre et I″. Un fil qui est recouvert d'une enveloppe isolante quelconque peut de cette manière avoir sa charge partagée avec un fil semblable ou avec un fil dans des conditions inductives différentes. En employant des fils de cuivre ayant la même longueur, le même diamètre, les capacités inductives, spécifiques et relatives des différentes matières isolantes peuvent être déterminées.

7° *Pour obtenir un courant intermittent résultant des décharges accumulées d'une bouteille ou d'un condensateur de Leyde :*

On unit un pôle de la batterie avec I, et l'autre avec I″; la

bouteille de Leyde doit être isolée, et un fil doit unir la couche intérieure avec C, pendant qu'un autre fil unit la couche extérieure avec C'; le galvanomètre doit être interposé sur un fil unissant I' et I'''.

8° *Pour obtenir des décharges accumulées d'une bouteille de Leyde converties en un courant intermittent (même quand un des pôles de la batterie communique avec la terre)* :

On interpose la batterie entre la terre et I; on fait communiquer le fil, de C à l'armature intérieure de la bouteille, pendant que l'armature extérieure communique avec la terre et I'; le galvanomètre doit être interposé entre I' et la terre.

Le déchargeur accumulant fut terminé et employé au mois d'avril 1860. L'inductomètre de M. Latimer Clarke, décrit dans « l'*Ingénieur,* » le 28 septembre 1860, ressemble sous beaucoup de rapports à cet instrument; il me fut du reste suggéré par lui, mais MM. Elliots ne le construisirent qu'au mois de septembre 1860.

M. Siemens a également construit un instrument agissant par lui-même, pour obtenir une succession rapide de charges et de décharges, et il l'exposa au comité de l'Association britannique à Oxford, en juillet 1860.

M. Guillemin construisit en 1849 (je l'ignorais à cette époque) un instrument propre à accumuler les décharges pour une expérience spéciale[1]. (C'est celui que j'ai décrit dans le paragraphe 7.) Ce savant a du reste récemment appliqué le même principe pour mesurer les décharges accumulées de petites longueurs de fils télégraphiques, recouverts extérieurement de feuilles d'étain[2].

A M. Guillemin revient donc la priorité de cette utile méthode.

1. Au courant produit par une pile isolée et sans communication entre les deux pôles. *Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, 12 nov. 1849.

2. *Idem*, octobre, 1860.

Autres travaux sur les câbles sous-marins.

Déductions de M. Siemens. — Nous avons donné, pages 151 et 152, quelques formules déduites d'un long travail de M. Siemens, au moyen desquelles on peut connaître la charge et le temps de la propagation électrique dans une ligne sous-marine, mais nous n'avons pas indiqué les conséquences qui résultent de la discussion de ces formules. Ces conséquences étant assez importantes, nous croyons devoir rapporter ici la partie du travail de M. Siemens, dans laquelle elles sont énumérées.

« Quand l'une des extrémités d'un câble, dit-il, est mise en communication avec le pôle libre d'une batterie communiquant avec la terre, alors que l'autre extrémité est isolée, un galvanomètre placé entre ces deux extrémités accusera une déviation très-marquée, mais provoquée par la charge du fil, et qui pourra représenter, sous certaines conditions, l'intensité du courant de charge. Si après cette déviation momentanée on sépare le câble de la batterie, et qu'on le mette en communication avec la terre, le galvanomètre déviera de nouveau, mais en sens contraire de la première déviation, et accusera ainsi un courant de décharge.

« On obtient les mêmes effets quand l'extrémité la plus éloignée du câble, au lieu d'être isolée, est mise en communication avec la terre. Seulement, comme les effets se compliquent de la réaction d'un courant continu, ils ne peuvent se révéler que quand on interrompt le circuit près de la batterie. Alors le courant, au lieu de s'annuler immédiatement, persiste pendant un certain temps, en devenant de plus en plus faible jusqu'à ce que la charge du fil soit complétement écoulée.

« Les lois de ces courants de charge et de décharge peuvent être établies au moyen des formules suivantes :

« Soit Q l'intensité de la charge, et α l'angle de déviation maximum du galvanomètre, on aura :

$$(1) \qquad Q = \frac{\sin \alpha}{2},$$

et si on veut comparer au moyen de cette formule les charges Q, Q′ de deux fils, les angles α, α' étant donnés au moyen d'une boussole rhéométrique, on aura :

$$(2) \qquad Q : Q' :: \frac{\sin \alpha}{2} : \frac{\sin \alpha'}{2}.$$

« On peut encore poser la relation suivante qui résulte des calculs dont il a été question, pages 142 et 152 :

$$(3) \qquad Q : Q' :: \frac{nl}{\log \frac{r}{\rho}} : \frac{n'l'}{\log \frac{r'}{\rho'}}.^{*}$$

« Cette dernière relation a des conséquences importantes. Supposons, en effet, que le rapport $\frac{r}{\rho}$ de l'un des câbles soit égal au rapport $\frac{r'}{\rho'}$ de l'autre câble, il en résultera :

$$(4) \qquad Q : Q' :: nl : n'l',$$

et en admettant que le nombre d'éléments de la pile reste le même, ce rapport deviendra :

$$(5) \qquad Q : Q' :: l : l'$$

ou si on suppose $l = l'$:

$$(6) \qquad Q : Q' :: n : n'.$$

1.* l, l' représentent les longueurs des fils, r, r' les rayons de l'enveloppe isolante, ρ, ρ' les rayons du fil métallique, n, n' le nombre d'éléments de la pile.

« Maintenant, si on représente par t, t', le temps de la propagation électrique, le calcul démontre qu'on obtient le rapport :

$$(7) \qquad : Q' :: \frac{l^2}{\rho^2 \log \frac{r}{\rho}} : \frac{l'^2}{\rho'^2 \log \frac{r'}{\rho'}}.$$

Si dans cette relation $\frac{r}{\rho} = \frac{r'}{\rho'}$, on a :

$$(8) \qquad t : t' :: \left(\frac{l}{\rho}\right)^2 : \left(\frac{l'}{\rho'}\right)^2,$$

et si $l = l'$:

$$(9) \qquad t : t' :: \rho'^2 : \rho^2,$$

ou si $\rho = \rho'$:

$$(10) \qquad t : t' :: l^2 :: l'^2.$$

« De ces équations résultent les lois suivantes :

« 1° Les charges sont entre elles comme les sinus de la moitié des arcs de déviation primitifs ;

« 2° Quand le rapport entre les diamètres de l'enveloppe isolante et du fil métallique reste le même, les charges dépendent seulement des longueurs des câbles et du nombre des éléments de la pile, et sont entre elles comme les produits de ces quantités ;

« 3° Si dans les conditions précédentes les longueurs des câbles sont les mêmes, les charges sont proportionnelles aux nombres des éléments ;

« 4° Les temps de charge sont indépendants des batteries ;

« 5° Si le rapport des diamètres de l'enveloppe isolante et du fil métallique sont les mêmes, les temps de charge dépendront seulement des longueurs des câbles et du dia-

mètre du fil métallique, et seront entre eux comme le carré des quotients des longueurs des câbles par les rayons des fils métalliques ;

« 6° Si, dans les conditions précédentes, les longueurs des câbles sont les mêmes, les temps de charge seront entre eux en raison inverse des carrés des rayons des fils métalliques ;

« 7° Si les rapports des diamètres sont les mêmes pour les deux câbles, et si les fils métalliques sont de même grosseur, les temps de charge seront entre eux comme les carrés des longueurs des câbles.

« Pour calculer la vitesse avec laquelle les signes télégraphiques peuvent être transmis par une ligne donnée, il faut encore tenir compte d'une autre condition, la formation d'ondulations électriques au sein même du câble télégraphique.

« Il résulte de ce qui précède que la charge complète d'un câble précède toujours la décharge qui s'effectue à l'une de ses extrémités. Or, si on interrompt la communication de ce câble avec la pile avant que le courant de charge ne soit parvenu à son extrémité, l'électricité qui s'est accumulée dans le fil se répand sur toute sa surface, et le courant de charge devient sensible pour l'appareil placé à cette extrémité, quelque temps après que la batterie n'agit plus.

« Maintenant, si on renverse le sens du courant de la batterie au lieu de l'interrompre, la partie du câble la plus rapprochée de la batterie pourra être chargée d'une électricité alors que l'autre partie sera chargée de l'électricité contraire.

« Dans ce cas, il peut se produire des ondes électriques : car, en admettant qu'une charge positive existe dans le câble au moment de l'envoi d'une charge négative, il arrivera forcément que la première, en s'écoulant des deux côtés au moment de la permutation, déterminera du côté de

la batterie un courant en sens inverse du courant primitif, qui, en s'ajoutant au courant de charge négatif ultérieurement envoyé, fournira un courant de charge qui sera renforcé dans une partie du câble, et qui formera une onde électrique.

« D'après cela, on comprend aisément qu'avec un câble très-long et une succession rapide de courants, il sera possible de déterminer un certain nombre de ces ondes de nom contraire, qui, en raison de leur plus grande intensité électrique, pourront être utilisées avantageusement, si on donne aux appareils une disposition convenable.

« Avec des courants de charge de même puissance et de même durée, on peut utiliser sur les grandes lignes un nombre relativement grand de ces ondes; mais avec des courants inégaux en puissance ou en durée, les ondes les plus petites sont presque totalement détruites par les grandes. »

Nouvelles recherches de M. Gaugain sur la capacité inductive des corps isolants. — On a vu, pages 139 et 140, que M. Gaugain, tout en considérant le phénomène de la condensation comme un cas de la transmission électrique à travers les corps mauvais conducteurs, cas prévu par Ohm et ayant sa formule, avait admis provisoirement, comme tous les physiciens et Faraday tout le premier, que les diverses substances isolantes pouvaient avoir une capacité inductive différente, indépendante de leur pouvoir conducteur; de nouvelles recherches lui ont fait reconnaître que cette capacité inductive n'était qu'illusoire, et que tous les corps diélectriques ne diffèrent sous ce rapport que par le temps plus ou moins long que la charge électrique met à atteindre sa valeur maximum.

Ainsi, le soufre, la gomme laque, qu'on regardait jusqu'ici comme fournissant instantanément les effets maxima de condensation, effets qu'on croyait inférieurs à ceux provoqués par la gutta-percha mise pendant un certain temps en

rapport avec une source électrique, ont été reconnus par M. Gaugain exercer une action analogue à celle produite par cette dernière substance, mais après un temps beaucoup plus long.

En effet, alors que la gutta-percha, servant d'intermédiaire entre deux lames métalliques dont l'une est sans cesse électrisée, mettra un quart d'heure pour fournir sur l'autre lame une charge maxima d'une valeur A, je suppose, le soufre, placé dans les mêmes conditions et quoique fournissant instantanément une charge beaucoup plus grande que dans le premier cas, mais inférieure à A, pourra cependant fournir cette charge A au bout de deux ou trois jours. La seule différence entre les effets inducteurs de ces deux substances n'est donc, en définitive, que dans le temps plus ou moins rapide de la première charge et dans le temps plus ou moins long de la charge définitive.

Nouveau système de câble sous-marin de MM. Siemens et Halske. — Voici comment M. Siemens décrit lui-même ce système, qui est, selon nous, le meilleur qu'on ait construit jusqu'à ce jour :

« Le conducteur, qui peut se composer d'un seul fil ou d'un faisceau de plusieurs fils de cuivre, est d'abord recouvert d'une couche assez mince de Chatterton-composition, et au-dessus de cette première couche isolante se trouve appliquée une ou plusieurs couches de caoutchouc, à l'aide d'un procédé qui n'exige pas que cette substance soit préalablement chauffée. Avec ce procédé, le caoutchouc est appliqué sur le fil conducteur par bandes longitudinales soudées l'une à l'autre à l'aide d'une machine qui, après les avoir fortement serrées contre le fil, en réunit les bords fraîchement coupés. On sait que quand une pareille opération est faite à l'abri du contact de l'air, la soudure du caoutchouc se trouve ainsi effectuée de la manière la plus solide et la plus parfaite. Lorsque plusieurs couches de caoutchouc doivent

être appliquées, on s'arrange de manière que les jointures longitudinales ne se correspondent pas d'une couche à l'autre.

« Après cette première isolation, le fil est recouvert d'uue couche de Chatterton-composition, et ensuite d'une forte couche de gutta-percha qui sert d'enveloppe protectrice au caoutchouc.

« L'expérience a démontré, du reste, que la combinaison du caoutchouc avec la gutta-percha réunit toutes les conditions pour fournir la meilleure isolation possible et la moindre induction spécifique, et en même temps présente la disposition la plus avantageuse pour la préservation du caoutchouc pendant la manipulation.

« La manière dont le caoutchouc est appliqué sur le fil fait que l'enveloppe du câble dont nous parlons est exempte de toutes crevasses ou fentes qui pourraient en altérer les propriétés isolantes; de plus, cette enveloppe conserve partout la même épaisseur, et sa concentricité avec le conducteur ne court pas risque d'être altérée par une élévation accidentelle de la température de celui-ci; car le caoutchouc conserve sa solidité à une température bien supérieure à celle à laquelle la gutta-percha se ramollit.

« Les minces couches de Chatterton-composition, interposées entre le fil métallique et le caoutchouc et entre celui-ci et la gutta-percha, ont non-seulement pour effet d'empêcher l'action du cuivre sur le caoutchouc, mais encore de fournir entre ces divers corps une complète adhérence.

« Au premier abord, le prix des fils ainsi recouverts paraît un peu considérable, comparativement à celui des fils simplement recouverts de gutta-percha; mais si l'on considère le faible pouvoir inducteur de ces nouveaux fils, la faculté qu'ils ont de transmettre plus rapidement les signaux télégraphiques et leur malléabilité, on comprendra facilement que la comparaison tournera à leur avantage.

« Quand ces fils doivent constituer des câbles sous-marins, ils sont d'abord recouverts de deux couches de rubans de grosse toile goudronnée, fortement serrés autour de l'enveloppe de gutta-percha. Ces rubans sont enroulés en hélice autour du fil, et le sens de cet enroulement est différent pour chacune des deux couches. C'est au-dessus de cette enveloppe qu'est appliqué le revêtement qui doit servir de cuirasse au câble et qui consiste dans une série de bandes de cuivre ou de laiton enroulées également en spirale et placées à recouvrement les unes sur les autres comme les écailles d'un poisson. Comme ces bandes sont appliquées autour du câble à l'aide d'une matrice mise en mouvement de rotation et qui comprime fortement le tout ensemble, ces bandes se trouvent déprimées sur une moitié de leur largeur, et c'est dans ces parties déprimées que s'appliquent les bords des bandes appelées à fournir les recouvrements.

« Une cuirasse ainsi formée, tout en étant peu perméable à l'eau, jouit des avantages d'une grande flexibilité, et comme le cuivre qui la compose est phosphoré, et par conséquent dans l'impossibilité d'être décomposé dans l'eau de mer, on peut la regarder comme devant être d'une durée indéfinie.

« Aux avantages que nous venons d'énumérer, ces nouveaux câbles en joignent d'autres non moins importants, ceux de la force et de la légèreté, qui en rendent la pose infiniment plus facile et n'entraînent pas les risques et périls qui sont la conséquence des câbles à armatures de fer. Avec de pareils câbles, en effet, on n'a plus de nœuds ou de coques à redouter pendant la pose, et il sera toujours possible de les retirer des mers les plus profondes, même après un séjour de plusieurs années.

« Ces câbles peuvent d'ailleurs être employés à beaucoup d'autres usages. Ainsi ils peuvent être avantageusement utilisés comme conducteurs souterrains et pour la télégraphie militaire. On comprend en effet qu'en raison de l'élasticité

considérable du caoutchouc, ils peuvent même être déformés par suite du passage des fourgons ou des voitures, sans cesser de fournir une bonne isolation. On les fabrique d'ailleurs de toutes dimensions, depuis $0^m,0045$, et à des prix qui n'excèdent pas ceux des câbles de même nature avec armatures de fer. »

Système de câbles sous-marins de M. Allan. — Pour empêcher la rupture du fil de cuivre des câbles sous-marins, M. Allan a eu l'idée d'entourer ce fil d'un câble de petits fils de fer enroulés en hélice autour de lui, et c'est au-dessus de ce petit câble formé par 25 fils, chacun de la grosseur d'une aiguille à coudre, que se trouve appliquée l'enveloppe isolante. Celle-ci est composée de quatre couches de gutta-percha, et le tout est enveloppé d'une double couverture en ruban de toile goudronnée qui ne possède aucun revêtement métallique. Son diamètre total est de cinq huitièmes de pouce.

Études comparatives sur la force des électro-aimants dont le noyau de fer est plein ou creux.

Plusieurs physiciens, à diverses époques, ont recherché si des électro-aimants dont le noyau magnétique est constitué par un tube de fer, ont la même force que les mêmes électro-aimants ayant un noyau massif du même métal. M. de Haldat avait reconnu que, diamètre pour diamètre, cette force était la même dans les deux cas. Mais M. Pfaff, au contraire, a trouvé qu'elle était considérablement différente. D'un autre côté j'avais reconnu moi-même que pour des épaisseurs convenables des tubes de fer la différence pouvait être très-minime. Ces expériences étaient, comme on le voit, très-contradictoires, et laissaient la question dans un vague qu'il était important d'éclaircir dans l'intérêt des applications électriques.

J'ai repris cette année l'étude de cette question, et je suis arrivé cette fois à des résultats qui ne peuvent laisser aucun doute.

Pour pouvoir étudier dans leurs différents effets les réactions magnétiques produites au sein d'un noyau magnétisé, j'ai fait construire, avec le même fer, deux noyaux exactement de même diamètre et de même longueur, et pouvant s'adapter dans la bobine de ma balance magnétique ; l'un de ces noyaux était creux, mais un cylindre de fer qu'on pouvait placer à l'intérieur permettait d'en faire un noyau plein [1]; ce petit cylindre était d'ailleurs composé de deux parties réunies bout à bout qui pouvaient être placées isolément dans le noyau creux, soit à une extrémité, soit à l'autre. L'un des bouts de ce petit cylindre avait 5 millimètres seulement de longueur, l'autre bout 65 millimètres ; et étant réunis, ils fournissaient une longueur totale de 7 centimètres, qui était précisément celle du noyau creux. Ayant mesuré successivement la force magnétique développée : 1° par le noyau creux, 2° par le noyau creux muni du petit cylindre entier, 3° par le noyau plein, 4° par le noyau creux muni à son pôle actif du petit cylindre de fer de 5 millimètres de longueur ou *bouchon de fer,* 5° par le noyau creux muni à sa partie inférieure du second cylindre de fer, j'ai obtenu les résultats suivants avec une pile de Daniell de 20 éléments :

1° Avec le noyau creux :

à 1^{mm} de distance attractive..............	25^{gr}.
à 2^{mm}..................................	8
à 3^{mm}..................................	2

1. Les dimensions des deux noyaux de même longueur et de même diamètre étaient : longueur 7 centimètres, diamètre 14 millimètres; l'épaisseur du noyau creux était de 2 millimètres, et son diamètre intérieur de 10 millimètres.

3° Avec le noyau plein :

à 1mm de distance attractive.............. 38 gr.
à 2mm 13
à 3mm 4

4° Avec le noyau creux et le bouchon de fer au pôle actif[1] :

à 1mm de distance attractive.............. 37 gr.
à 2mm 13
à 3mm 4

5° Avec le noyau creux et le cylindre de fer de 65 millimètres au pôle inactif (éloigné de 5 millimètres de la surface polaire exerçant l'attraction) :

à 1mm de distance attractive.............. 25 gr.
à 2mm 8
à 3mm 2

En renforçant la puissance de l'électro-aimant par l'addition d'une masse de fer au pôle inactif, ces chiffres sont devenus :

1° Avec le noyau creux :

à 1mm de distance attractive.............. 66gr.
à 2mm 28
à 3mm 15

1. Si le contact du bouchon de fer avec le noyau creux eût été plus parfait, il n'y aurait pas eu évidemment de différence entre la force attractive de celui-ci et celle du noyau plein; car ce défaut de contact a été en effet suffisant pour déterminer une différence de plusieurs grammes entre l'attraction d'un noyau plein et celle d'un noyau creux exactement rempli par un cylindre de fer.

4° Avec le noyau creux muni du bouchon de fer :

à 1^{mm} de distance attractive...............	93^{gr}.
à 2^{mm}..................................	38
à 3^{mm}..................................	20

Ces résultats très-curieux montrent que définitivement les noyaux creux exercent une attraction plus faible que les noyaux pleins, mais que la plus grande force de ceux-ci, *loin d'être la conséquence de leur plus grande masse métallique, dépend uniquement de la disposition de la surface polaire.* Nous voyons en effet que l'addition du cylindre de fer de 65 millimètres n'augmente pas la force attractive du noyau creux, alors que l'application du simple bouchon de 5 millimètres, à l'extrémité polaire, la rend presque égale à celle du noyau plein. Ainsi on peut conclure déjà que l'action de la partie centrale du noyau de fer des électro-aimants, relativement à l'attraction produite, peut être considérée comme nulle, sauf dans le voisinage des extrémités polaires.

Quel rôle joue la surface polaire des électro-aimants dans les phénomènes que nous venons d'analyser? Telle est la question qui restait à éclaircir, pour être bien fixé sur ce genre de réactions magnétiques. Croyant que la plus grande force des noyaux creux munis d'un bouchon de fer tenait au plus grand développement des surfaces polaires, lequel développement devait avoir pour effet d'augmenter le nombre des points attractifs, j'ai fait construire une bague de fer s'adaptant exactement à l'extrémité de mon tube d'essai, et augmentant de plus du double la surface polaire de ce noyau. Si l'augmentation de force que nous avons signalée n'avait été que le résultat d'une simple augmentation de la surface polaire, il est certain que le tube muni de son anneau de fer aurait dû fournir une attraction tout au moins égale, sinon supérieure à celle résultant de l'intervention du petit bouchon de

fer à l'extrémité du tube, et dont la surface était plus de moitié moins grande que celle de l'anneau ; mais l'expérience a démontré qu'il n'en était pas ainsi, car la force du tube sans l'anneau est demeurée toujours un peu plus forte que celle du tube muni de l'anneau. Voici en effet les chiffres qui ont été obtenus :

1° Électro-aimant droit avec noyau creux sans anneau de fer :

à 1^{mm} de distance attractive...............	11^{gr}.
à 2^{mm}................................	1
à 3^{mm}................................	0

2° Même électro-aimant avec anneau de fer :

à 1^{mm} de distance attractive...............	10^{gr}.
à 2^{mm}................................	1
à 3^{mm}................................	0

3° Même électro-aimant avec anneau et bouchon de fer :

à 1^{mm} de distance attractive...............	14^{gr}.
à 2^{mm}................................	3
à 3^{mm}................................	0

4° Même électro-aimant avec noyau plein :

à 1^{mm} de distance attractive...............	17^{gr}.
à 2^{mm}................................	4
à 3^{mm}................................	0

5° Électro-aimant avec culasse de fer et tube avec anneau de fer :

à 1^{mm} de distance attractive...............	25^{gr}.
à 2^{mm}................................	9
à 3^{mm}................................	4

6° Même électro-aimant avec tube sans anneau :

à 1^{mm} de distance attractive...............	27^{gr}.
à 2^{mm}.................................	9
à 3^{mm}.................................	3

7° Même électro-aimant, avec anneau et bouchon de fer :

à 1^{mm} de distance attractive...............	33^{gr}.
à 2^{mm}.................................	12
à 3^{mm}.................................	5

8° Même électro-aimant avec noyau plein :

à 1^{mm} de distance attractive...............	38^{gr}.
à 2^{mm}.................................	13
à 3^{mm}.................................	5

On reconnaît du reste dans cette action un effet analogue à celui par lequel un noyau de fer enveloppé par une hélice voltaïque s'aimante énergiquement alors qu'un cylindre de fer enveloppant cette même hélice ne s'aimante pas du tout. Il est probable que, dans le cas de l'anneau, celui-ci agit comme armature, et cette action s'effectue par dissémination au détriment de l'attraction exercée au dehors, comme quand un électro-aimant réagit à la fois sur plusieurs armatures ; tandis qu'avec le bouchon de fer il y a concentration des effets magnétiques produits par les différentes parties de la paroi interne du tube magnétisé, tant au-dessous du bouchon, que latéralement. Cette concentration est tellement énergique que, si le bouchon de fer est libre dans le tube, il se trouve projeté avec force au dehors de ce tube, au moment où celui-ci vient à être aimanté.

Du reste l'augmentation d'attraction par l'effet du bouchon de fer n'est réellement très-sensible que quand cette attraction s'exerce par le bout des électro-aimants, c'est-à-dire

normalement à leur surface polaire; quand elle s'effectue latéralement, on la retrouve moins marquée, et cela se comprend aisément, puisque dans ce cas, la surface polaire n'étant plus exposée devant l'armature, la partie de l'extrémité polaire qui réagit le plus directement sur cette armature, reste toujours dans les mêmes conditions. On peut en juger par les chiffres suivants :

Électro-aimant avec culasse de fer et noyau creux :

Attraction à 1^{mm}........................ 42^{gr}.
à 2^{mm}........................ 22

Même électro-aimant avec noyau creux et bouchon de fer :

Attraction à 1^{mm}........................ 48^{gr}.
à 2^{mm}........................ 27

Avec l'attraction normale, ces chiffres étaient, comme on l'a vu (pour une autre force de courant, il est vrai) :

Électro-aimant avec culasse de fer et noyau creux :

Attraction à 1^{mm}........................ 66^{gr}.
à 2^{mm}........................ 28

Même électro-aimant avec noyau creux et bouchon de fer :

Attraction à 1^{mm}........................ 93^{gr}.
à 2^{mm}........................ 38

La proportion de l'augmentation de force est, comme on le voit, bien différente dans les deux cas.

Il ressort encore de ces différentes expériences une conséquence curieuse, c'est que l'addition d'une masse de fer au pôle inactif d'un électro-aimant droit, qui surexcite ordinairement dans une proportion très-considérable la force de



l'autre pôle, n'exerce aucun effet quand cette masse n'est pas placée extérieurement à ce pôle. Cela prouve, conformément à ce que nous avons toujours dit, qu'un aimant a d'autant plus de force que son pôle en apparence inactif peut provoquer une réaction extérieure susceptible, par une action réflexe, de le surexciter. En répétant, en effet, au pôle inactif de l'électro-aimant droit dont nous avons parlé les expériences avec le bouchon de fer et l'anneau, j'ai trouvé qu'alors que l'attraction, à 1 millimètre, était de 6 grammes avec le tube seul, elle restait à 6 grammes avec le bouchon de fer placé à l'intérieur de l'extrémité polaire inactive, atteignait 7 grammes avec le même bouchon de fer placé extérieurement à cette extrémité polaire, enfin 9 grammes avec l'anneau de fer également placé à cette même extrémité.

APPENDICE AU CHAPITRE III

SUR LA TÉLÉGRAPHIE ÉLECTRIQUE.

Système de renversement de courant sans commutateur, de M. Caselli. — Le système de traçage électro-chimique, appliqué par M. Caselli à son télégraphe et que nous avons décrit page 336, est d'une date récente et lui avait été suggéré à la suite d'expériences faites par lui sur les lignes aériennes. Mais, avant ce système, il en avait imaginé un autre extrêmement ingénieux, et qui, pouvant avoir des applications nombreuses, mérite aussi d'être signalé.

Supposons qu'à la station de départ se trouvent disposées deux piles P et P′, réunies, comme on le voit sur la fig. 110 ci-après, et mises en rapport avec le sol par la plaque T; admettons que ces piles aient le même nombre d'éléments, mais que les éléments de la pile P′ soient d'une dimension

beaucoup plus grande que ceux de la pile P. Si le fil de ligne CB communique d'une part au pôle positif de la pile P,

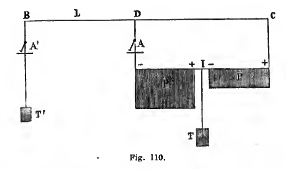


Fig. 110.

et d'une autre part au pôle négatif de la pile P', et que l'interrupteur soit en A, il arrivera :

1° Quand la communication AD sera interrompue, que le courant positif de la pile P réagira en A' à la station opposée et produira la marque bleue que l'on connaît.

2° Quand la communication AD sera complète, que le courant des deux piles passera en grande partie par PCDAP', mais que le courant de la pile P' étant prépondérant, une partie de ce courant se dérivera et passera à travers la ligne CB, en sens inverse du courant primitivement envoyé. Dans ce cas, il y aura donc renversement de courant sous l'influence d'une fermeture et d'une ouverture de circuit.

FIN.

TABLE

I

GÉNÉRATEURS D'ÉLECTRICITÉ.

CONSIDÉRATIONS GÉNÉRALES.

Recherches sur les constantes voltaïques.

PERFECTIONNEMENTS APPORTÉS AUX PILES.

BATTERIES DE POLARISATION.

NOUVEAUX GÉNÉRATEURS D'ÉLECTRICITÉ.

II

TECHNOLOGIE ÉLECTRIQUE.

RECHERCHES NOUVELLES SUR LA TRANSMISSION DE L'ÉLECTRICITÉ DANS LES CIRCUITS.

Pages

III

TÉLÉGRAPHIE ÉLECTRIQUE.

Appareils pour le rappel des postes pendant la nuit, et l'établissement automatique de la communication directe.

APPENDICES.

Appendices au chapitre I, sur les générateurs d'électricité.

Appendices au chapitre II, sur les câbles sous-marins.

Appendice au chapitre III, sur la télégraphie électrique.

PARIS. — IMPRIMERIE DE J. CLAYE, 7, RUE SAINT-BENOIT.



Fig. 1

Fig. 4

Fig. 11.

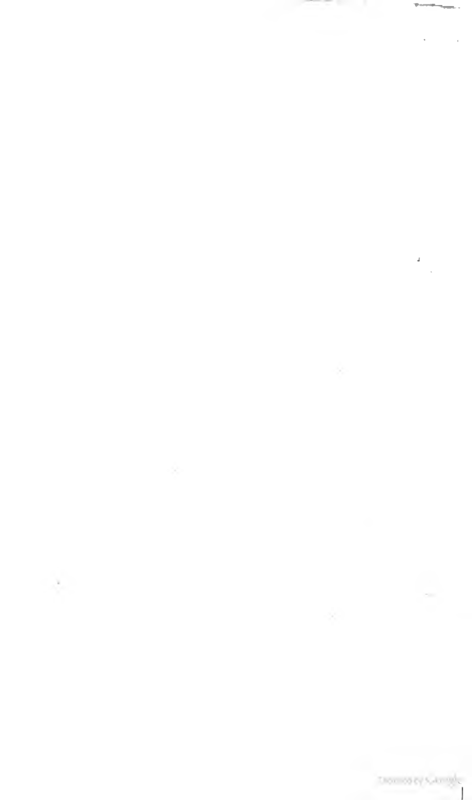
Fig. 8.

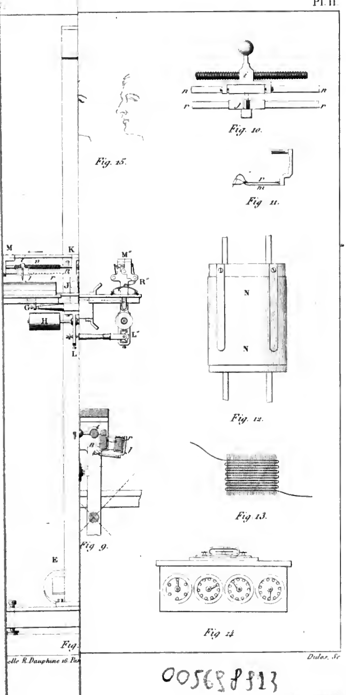
Fig. 6.

Fig. 14.

A. Chazelle R. ..

Dulos, Sc.




M
K
M"
R"
J
G
H
L"
L
E
N
N
n
r
Fig. 15.
Fig. 10.
Fig. 11.
Fig. 12.
Fig. 13.
Fig. 14.
Fig. 9.
Fig.

